

**PREDIKSI PERSEBARAN POLUTAN UDARA PADA TAHAP EKSPLORASI
PANAS BUMI DI WILAYAH KERJA PANAS BUMI ARJUNO - WELIRANG**

SKRIPSI

Oleh

NURUL FATHMADHANI

NIM 175100907111034



PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN

FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2021



**PREDIKSI PERSEBARAN POLUTAN UDARA PADA TAHAP EKSPLORASI PANAS
BUMI DI WILAYAH KERJA PANAS BUMI ARJUNO - WELIRANG**

LAPORAN SKRIPSI

Oleh:

NURUL FATHMADHANI

NIM 175100907111034

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Prediksi Persebaran Polutan Udara pada Tahap
Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi
Arjuno – Welirang

Nama Mahasiswa : Nurul Fathmadhani

NIM : 175100907111034

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Dr. Ir. A. Tunggul Sutan Haji, M.T

NIP. 19620814 198701 1 001

Tanggal Persetujuan : 2021

Pembimbing Kedua,

Dr. Eng. Evi Kurniati, S.TP., M.T

NIP. 19620814 198701 1 001

Tanggal Persetujuan : 2021

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Prediksi Persebaran Polutan Udara pada Tahap
 Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi
 Arjuno – Welirang

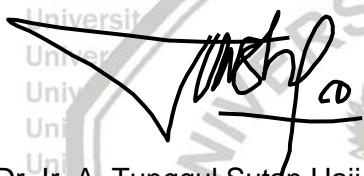
Nama Mahasiswa : Nurul Fathmadhani

NIM : 175100907111034

Jurusan : Keteknikan Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Pembimbing Pertama,



Dr. Ir. A. Tunggul Sutan Haji, M.T.
 NIP. 19620814 198701 1 001

Dosen Pembimbing Kedua,



Dr. Eng. Evi Kurniati, S.TP, M.T.
 NIP. 19760415 199903 2 001

Dosen Penguji,



Putri Setiani, S.T, M.ES, Ph.D
 NIP. 201607891221 1 001

Ketua Jurusan,



Dr. Eng. Akhmad Adi S, S.TP, M.T, M.Eng
 NIP. 19790501 200501 1 001

Tanggal Lulus TA. 13/10/2021

RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan pada tanggal 31 Desember 1998 di Banyumas, Jawa Timur dari Bapak Bernama Zaenurrahman Cholid dan Ibu bernama Suharti. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dengan kakak bernama Rahmatika Kurnia Romadhani. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri 1 Lesmana pada tahun 2011, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Ajibarang hingga tahun 2014. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Purwokerto pada tahun 2017 dan akhirnya melanjutkan pendidikan di Teknik Lingkungan Universitas Brawijaya.

Pada tahun 2021 penulis telah berhasil menyelesaikan program Strata 1-nya di Universitas Brawijaya pada Program Studi Teknik Lingkungan. Pada masa pendidikannya penulis aktif sebagai Asisten Praktikum Teknik Konservasi Lingkungan / Konservasi Tanah dan Air 2020. Selain dalam bidang akademik, penulis juga aktif dalam bidang non akademikyaitu dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Pertanian (BEM FTP) pada tahun 2018/2019 sebagai staff di Kementerian Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa dan organisasi Korps Sukarela Universitas Brawijaya (KSR UB) pada tahun 2017-2021 sebagai anggota B. Penulis juga aktif dalam kegiatan kepanitiaan seperti menjadi Koordinator Kesehatan Orientasi Pengenalan Jurusan (2018), Staff Kesehatan PKK FTP (2018), Sekretaris dan Bendahara *Scholarship talk* (2019), Koordinator Kesehatan EA (2018), dan Sekretaris HUT KSR Brawijaya (2019).

HALAMAN PERSEMBAHAN

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah rasa syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan

Rahmat dan hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih saya sampaikan kepada kedua orang tua saya,
Bapak Zaenurrahman Cholid dan Ibu Suharti yang telah memberikan banyak doa serta
dukungan baik moril maupun materiil kepada saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih kepada kakak saya Rahmatika Kurnia Romadhani yang telah memberikan
semangat kepada saya untuk segera menyelesaikan skripsi ini.

Keluarga, sahabat, teman – teman perkuliahan dan orang yang saya sayangi, tanpa
dukungan dan bantuan kalian semua mungkin penulis tidak dapat menyelesaikan penelitian
dengan lancar.

Penulis,

Nurul Fathmadhani



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Nurul Fathmadhani

NIM : 175100907111034

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jurusan : TEP/Teknik Lingkungan

Fakultas : Teknologi Pertanian

Judul Tugas Akhir : Prediksi Persebaran Polutan Udara pada Tahap
Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi
Arjuno – Welirang

Menyatakan bahwa,

TA dengan judul di atas merupakan hasil karya asli penulis tersebut di atas. Apabila kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

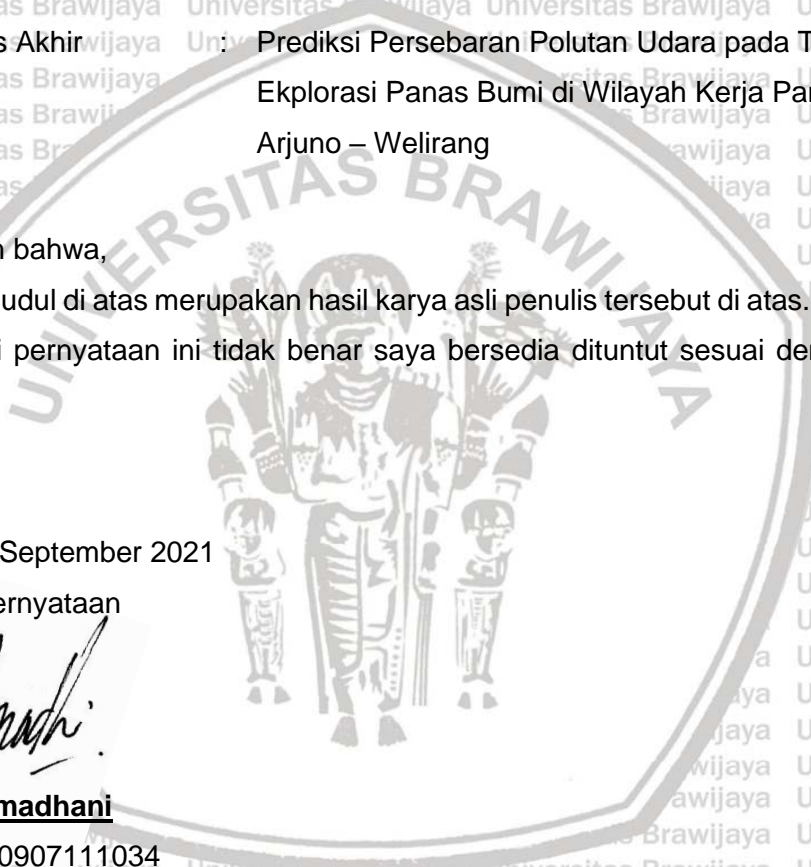
Malang, 28 September 2021

Pembuat Pernyataan



Nurul Fathmadhani

NIM. 175100907111034



Nurul Fathmadhani. 175100907111034. Prediksi Persebaran Polutan Udara pada Tahap Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang, TA.

Pembimbing: Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, M.T dan Dr. Eng. Evi Kuriati, S.TP, M.T.

RINGKASAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi panas bumi yang tinggi sehingga sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Energi panas bumi dikatakan lebih ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan energi fosil, namun dalam prosesnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) masih menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan dengan polutan dominan berupa hidrogen sulfida dan karbondioksida. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah deskriptif kuantitatif dan spasial. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian terdiri dari tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap analisa data. Pengumpulan data terdiri atas data primer yang meliputi data stabilitas atmosfer serta data sekunder yang meliputi profil cerobong, emisi gas buang, kebutuhan bahan bakar alat berat dan vegetasi tutupan lahan. Pengolahan data menggunakan *Microsoft excel* untuk menghitung besar konsentrasi polutan di setiap titik dengan menggunakan metode *gaussian* yang kemudian dilanjutkan dengan analisis deskriptif untuk menginterpretasikan hasil perhitungan tersebut dalam bentuk peta prediksi sebaran polutan menggunakan Sistem Informasi Geografis memanfaatkan aplikasi ArcGis 10.8. Konsentrasi gas buang sebesar $7,161 \text{ gr/m}^3 \text{ H}_2\text{S}$ dan $4.092,93 \text{ gr/m}^3 \text{ CO}_2$ memiliki kecenderungan untuk mengarah ke Barat-Selatan mengikuti arah angin dominan. Hasil perhitungan menunjukkan kadar polutan H_2S tertinggi ada pada kisaran $0,6 - 0,1 \text{ ug/m}^3$ yang dapat ditemukan pada radius < 100 meter dari sumber pencemar adapun untuk parameter CO_2 konsentrasi polutan tertinggi yang dihasilkan ada pada kisaran $100 - 300 \text{ ug/m}^3$ pada radius 50 meter dari cerobong sehingga masih dapat dikatakan aman karena berada di bawah baku mutu yang berlaku. Skenario perubahan arah angin menuju pemukiman terdekat sejauh 3 km menunjukkan konsentrasi polutan yang diterima sebesar $< 4 \text{ ug/m}^3$ untuk CO_2 dan $< 0,003 \text{ ug/m}^3$ untuk parameter H_2S sehingga dapat dikatakan terkendali karena nilai polutan jauh berada di bawah baku mutu. Hasil perhitungan kemampuan tutupan lahan dalam menyerap CO_2 dari emisi alat berat adalah sebesar 2.622.557,424 Ton/Tahun yang menunjukkan apabila tutupan vegetasi yang ada dapat menyerap emisi CO_2 hasil produksi alat berat yang digunakan pada tahap konstruksi dari kegiatan eksplorasi panas bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Arjuno Welirang.

Kata Kunci : Persebaran polutan, Metode *Gaussian*, Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Arjuno Welirang, Sistem Informasi Geografis.

Nurul Fathmadhani. 175100907111034. Prediction of Air Pollutant Distribution at the Geothermal Exploration Stage in Arjuno Welirang Geothermal Working Site. Minor Thesis. Advisor : Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, M.T and Dr. Eng. Evi Kuriati, S.TP, M.T.

SUMMARY

Indonesia is one of the countries with high geothermal potential so it is possible to use it as an alternative energy source. Geothermal energy is said to be more environmentally friendly when compared to fossil energy, but in the process Geothermal Power Plants (PLTP) still produce waste that has the potential to pollute the environment with dominant pollutants in the form of hydrogen sulfide and carbon dioxide. The method used in this research is descriptive quantitative and spatial analysis. The stages carried out in the study consisted of the data collection stage, the data processing stage, and the data analysis stage. Data collection consists of primary data which includes atmospheric stability data and secondary data which includes chimney profiles, exhaust emissions, heavy equipment fuel requirements and land cover vegetation. Data processing uses Microsoft excel to calculate the pollutant concentration at each point using the Gaussian method which is then followed by descriptive analysis to interpret the calculation results in the form of a pollutant distribution prediction map using a Geographic Information System utilizing the ArcGIS 10.8 application. The exhaust gas concentration of 7,161 gr/m³ H₂S and 4.092,93 gr/m³ CO₂ has a tendency to point to the West-South following the dominant wind direction. The calculation results show that the highest H₂S pollutant levels are in the range of 0,6 – 0,1 ug/m³ which can be found at radius < 100 meters from the pollutant source is said to be safe because it is under the applicable quality standards. The scenario of changes in wind direction to the nearest settlement as far as 3 km shows the received pollutant concentration of <4 ug/m³ for CO₂ and <0,003 ug/m³ for H₂S parameters so that it can be said to be under control because the pollutant value is far below the quality standard. The result of the calculation of the ability of land cover to absorb CO₂ from heavy equipment emissions is 2.622.557,424 Ton/Year which indicates if the existing vegetation cover can absorb CO₂ emissions from the production of heavy equipment used in the construction phase of geothermal exploration activities in the Geothermal Working Area (WKP) Arjuno Welirang.

Keywords : Pollutant distribution, Gaussian method, Arjuno Welirang Geothermal Working Area (WKP), Geographic Information System.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Prediksi Persebaran Polutan Udara pada Tahap Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang” dengan baik.

Penyusunan tugas akhir ini ditulis untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Lingkungan Universitas Brawijaya. Penulisan tugas akhir ini tidak dapat terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua serta keluarga penulis yang telah senantiasa mendoakan, memotivasi, memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Alexander Tunggul Sutan Haji, M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk belajar lebih banyak dan senantiasa memberikan arahan serta pengetahuan kepada penulis.
3. Ibu Dr. Eng. Evi Kurniati, S.TP, M.T selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dan pengetahuan kepada penulis.
4. Ibu Putri Setiani, S.T, M.E.S, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan informasi, kritik dan saran kepada penulis.
5. Ibu Novia Lusiana, S.TP, M.Si selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengetahuan kepada penulis.
6. Teman – teman penelitian Atun, Nadhil, Lutfiari, Rikza, Arga dan Yusra yang sudah kebersamai penulis dalam proses pengerjaan skripsi ini
7. Samella, Sarah, Fariska, Lia, Vania dan Reynold yang sudah banyak membantu dan menemani penulis selama perkuliahan
8. Seluruh pihak yang turut berkontribusi dalam penyusunan proposal skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari jika tak ada gading yang tak retak, begitu pula dengan penulisan tugas akhir ini yang jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan kedepannya. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Brawijaya.

Malang, September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
RIWAYAT PENULIS	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	5
2.2. Tahap Eksplorasi pada Kegiatan Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	6
2.3. Tahura R. Soerjo	7
2.4. Pencemaran Udara	8
2.5. Perhitungan Emisi CO ₂	10
2.6. Daya Serap Vegetasi	11
2.7. Limbah Gas PLTPB	12
2.7.1. Karbondioksida (CO ₂)	12
2.7.2. <i>Total Suspended Particulate</i> (TSP)	12
2.7.3. Hidrogen sulfide (H ₂ S)	13
2.7.4. Hidrokarbon	13
2.7.5. Sulfur Dioksida (SO ₂)	14
2.7.6. Nitrogen Dioksida (NO ₂)	14

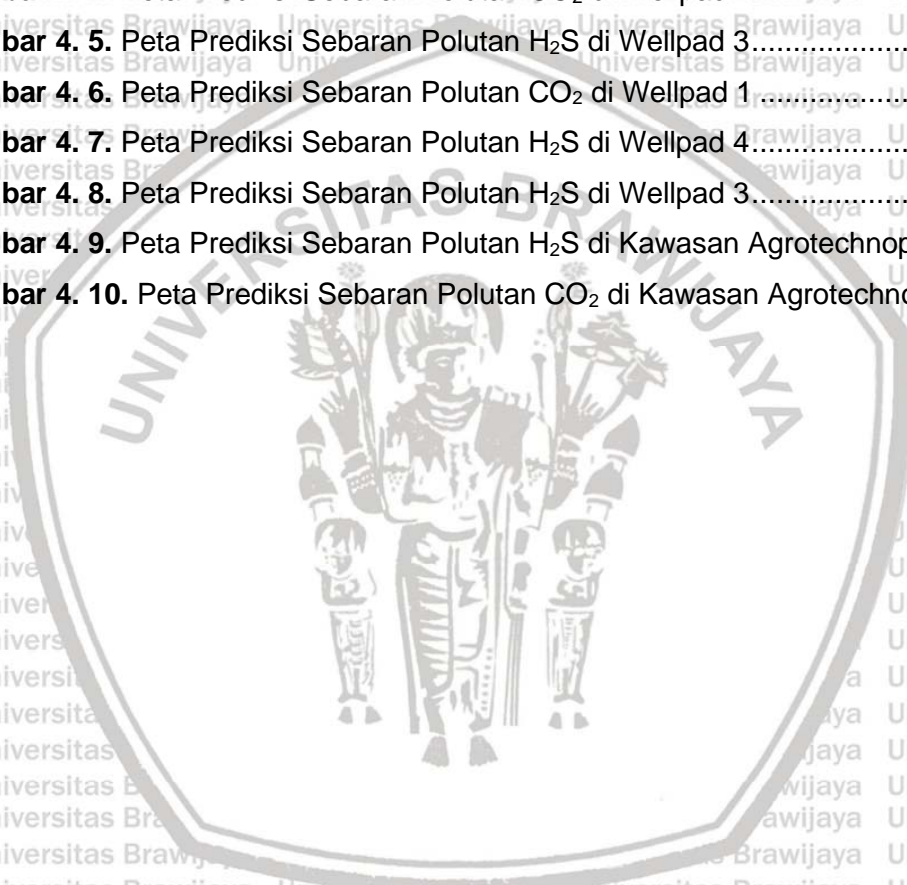
2.8. Dispersi Gauss	15
2.9. Sistem Informasi Geografis	15
2.10. Hierarki Mitigasi	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan	17
3.2. Alat dan Data	17
3.2.1. Alat	17
3.2.2. Data	17
3.3. Metode	18
3.4. Pelaksanaan	18
3.4.1. Pengumpulan Data	18
3.4.2. Pengolahan Data	20
3.4.2.1. Perhitungan Beban Emisi Tahap Konstruksi	20
3.4.2.2. Perhitungan Emisi Tahap Operasi	21
3.4.3. Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV PEMBAHASAN	26
4.1. Gambaran Umum Tahapan Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang	26
4.2. Prediksi Kebutuhan Alat Berat pada Proses Konstruksi	27
4.3. Kondisi Eksisting Udara Ambien	28
4.3.1. Kawasan Agrotechnopark Universitas Brawijaya	28
4.3.2. Kawasan Obyek Wisata Alam dan Bumi Perkemahan (OWA BUPER) Celaket, Kecamatan Pacet.	29
4.4. Prediksi Konsentrasi Emisi yang Dihasilkan dari Tahap Konstruksi	30
4.4.1. Perhitungan Faktor Emisi Spesifik	30
4.4.2. Menghitung Beban Emisi tiap wellpad	33
4.4.3. Daya Serap Vegetasi Lingkup Tapak Proyek Terhadap CO ₂ Aktivitas Transportasi	34
4.5. Prediksi Konsentrasi Emisi yang Dihasilkan dari Tahap Eksplorasi	35
4.5.1. Prediksi Persebaran Polutan	36
4.5.1.1. Wellpad 1	37
4.5.1.2. Wellpad 3	39
4.5.1.3. Wellpad 4	41
4.5.2. Skenario Perubahan Arah Angin Menuju Pemukiman Terdekat	42

4.5.3. Konsentrasi Emisi Buang H ₂ S Melampaui Nilai Ambang Batas dari Sumber Pencemar.....	44
4.6. Upaya Mitigasi Tahap Eksplorasi Panas Bumi Terhadap Penurunan Kualitas Udara.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta lokasi wellpad-sumur eksplorasi Arjuno-Welirang.....	7
Gambar 2. 2 Tutupan Lahan di Kawasan Tahura Raden Soerjo.....	8
Gambar 3. 1. Peta Batas Wilayah Studi.....	17
Gambar 3. 2. Titik Sampling dan Arah Angin.....	19
Gambar 4. 1. Peta Ketinggian Trase.....	26
Gambar 4. 2. Prediksi Emisi Kendaraan pada Tahap Pra Konstruksi.....	34
Gambar 4. 3. Peta Prediksi Sebaran Polutan H ₂ S di Wellpad 1.....	38
Gambar 4. 4. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO ₂ di Wellpad 1.....	38
Gambar 4. 5. Peta Prediksi Sebaran Polutan H ₂ S di Wellpad 3.....	40
Gambar 4. 6. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO ₂ di Wellpad 1.....	40
Gambar 4. 7. Peta Prediksi Sebaran Polutan H ₂ S di Wellpad 4.....	41
Gambar 4. 8. Peta Prediksi Sebaran Polutan H ₂ S di Wellpad 3.....	42
Gambar 4. 9. Peta Prediksi Sebaran Polutan H ₂ S di Kawasan Agrotechnopark.....	43
Gambar 4. 10. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO ₂ di Kawasan Agrotechnopark.....	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Potensi dan Kapasitas Terpasang Panas Bumi Dunia Tahun 2017.....	6
Tabel 2. 2. Baku Mutu Kualitas Udara	9
Tabel 2. 3. Nilai Ambang Batas H ₂ S di Lingkungan Kerja dan Kebauan	9
Tabel 2. 4. Tabel Nilai Faktor Emisi Default	11
Tabel 2. 5. Nilai Kalor Bahan Bakar Minyak di Indonesia	11
Tabel 2. 6. Daya Serap Tutupan Vegetasi	11
Tabel 2. 7. Efek H ₂ S Terhadap Manusia Sesuai Tingkatan Konsentrasinya	13
Tabel 3. 1. Metode Uji Parameter Kualitas Udara	18
Tabel 3. 2. Klasifikasi Stabilitas Atmosfer Berdasarkan Klasifikasi Pasquill's	22
Tabel 3. 3. Nilai p pada wilayah perkotaan	23
Tabel 3. 4. Koefisien Dispersi Gauss	23
Tabel 4. 1. Kebutuhan Alat pada Proses Konstruksi	28
Tabel 4. 2. Hasil Uji Pengukuran Kualitas Udara Agrotechnopark.....	29
Tabel 4. 3. Hasil Pengukuran Stabilitas Atmosfer Kawasan Agrotechnopark.....	29
Tabel 4. 4. Hasil Pengukuran Kualitas Udara OWA BUPER	30
Tabel 4. 5. Hasil Pengukuran Stabilitas Atmosfer Kawasan OWA BUPER	30
Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Tapak Karbon	31
Tabel 4. 7. Konversi Jenis Kendaraan dalam Satuan Mobil Penumpang	32
Tabel 4. 8. Beban Emisi CO ₂ pada Tahapan Pra Konstruksi	33
Tabel 4. 9. Daya Serap Emisi CO ₂ Oleh Vegetasi di Kawasan Tapak Proyek Eksplorasi Panas Bumi	35
Tabel 4. 10. Konstanta Pembentuk Koefisien Dispersi Gaussian.....	36
Tabel 4. 11. Prediksi Konsentrasi H ₂ S pada Konsentrasi Tinggi dari Sumber Pencemar	44
Tabel 4. 12. Dampak H ₂ S Dalam Jangka Pendek.....	45
Tabel 4. 13. Upaya Mitigasi Tahap Eksplorasi Panas Bumi Terhadap Penurunan Kualitas Udara.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien.....	53
Lampiran 2 Perhitungan Emisi Karbon.....	56
Lampiran 3 Data Atmosfer Kawasan Studi Periode Maret 2020 – Maret 2021.....	57
Lampiran 4 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 1.....	58
Lampiran 5 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 3.....	60
Lampiran 6 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 4.....	62
Lampiran 7 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Skenario Perubahan Arah Angin Menuju Pemukiman Terdekat (Agrotechnopark Brawijaya).....	64
Lampiran 8 Hasil Perhitungan Sebaran Konsentrasi Emisi Buang H ₂ S Melampaui Nilai Ambang Batas dari Sumber Pencemar.....	66
Lampiran 9 Dokumentasi.....	68



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini pertumbuhan penduduk di Indonesia mengalami kenaikan yang signifikan di setiap tahunnya. Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan suplai energi untuk memenuhi kebutuhan hajat hidup masyarakat. Mengingat keterbatasan energi berbahan dasar fosil yang tidak dapat diperbaharui, maka pemanfaatan energi alternatif dengan berorientasi kepada aspek lingkungan dirasa menjadi salah satu upaya yang paling efektif. Dari berbagai energi alternatif yang telah berhasil ditemukan, salah satu diantaranya adalah energi panas bumi (*geothermal*). Pemilihan energi panas bumi sebagai salah satu energi alternatif dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik dinilai jauh lebih ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan penggunaan pembangkit listrik berbahan dasar fosil. Sebagai salah satu contohnya, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) mengeluarkan emisi berupa CO₂ sebanyak 37kg/MWh, jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan energi batu bara yang mencapai 835 kg/MWh. Pemilihan energi berbahan dasar panas bumi semakin diperkuat dengan keberadaan Indonesia yang terletak di sepanjang sabuk gunung api (*ring of fire*) menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan potensi panas bumi yang tinggi sehingga sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

Energi panas bumi dikatakan lebih ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan energi fosil, namun dalam prosesnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) masih menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Adapun jenis limbah yang dihasilkan dari kegiatan PLTPB dapat meliputi limbah padat, limbah cair, maupun limbah gas. Secara umum, emisi yang dihasilkan dari proses PLTP berupa limbah gas yang diantaranya mengandung karbon dioksida (CO₂), *Total Suspended Particulate* (TSP), hydrogen sulfide (H₂S), Hidro karbon (HC), Nitrogen dioksida (NO₂) dan Sulfur dioksida (SO₂).

Polutan dominan yang dihasilkan dari proses PLTP adalah gas karbondioksida (CO₂) dan hydrogen sulfide (H₂S). H₂S dapat menyebabkan dampak buruk bagi manusia apabila terpapar melalui udara. Pada konsentrasi 500 ppm gas H₂S dapat mengakibatkan kematian, *edema pulmonary* dan *asphyxiant*. Sebuah penelitian di Finlandia memaparkan hasil penemuan yang menyatakan apabila dampak kronis seperti batuk, ISPA dan sakit kepala dapat terasa pada paparan H₂S dengan konsentrasi 2,3 µg/m³, 24 µg/m³ dan 152 µg/m³ maksimum selama 24 jam. Sebuah kasus keracunan H₂S juga beberapa kali telah terjadi Di Indonesia salah satunya di Mandailing Natal pada Januari 2021 dimana 5 orang ditemukan tewas dikarenakan keracunan gas H₂S dari aktivitas pembukaan sumur pada tahap eksplorasi panas bumi. Dilansir dari Data *International Labour Organization* (2013) ditemukan apabila penyakit saluran pernapasan adalah penyakit yang menduduki posisi ketiga setelah penyakit kanker dan kecelakaan yang dapat menyebabkan kematian. Keberadaan limbah gas PLTP

yang berbahaya bagi tubuh mengindikasikan apabila pengendalian gas buang dari proses PLTP harus dilakukan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan masyarakat serta lingkungan sekitar.

Pengendalian pencemaran udara dapat dilakukan dengan memperkirakan tingkat konsentrasi dari polutan yang berbahaya di atmosfer. Adapun metode yang dapat diterapkan diantaranya adalah pemodelan kualitas udara. Pemodelan kualitas udara akan mengolah data sumber emisi polutan pada suatu wilayah studi dengan konsentrasi polutan di atmosfer. Salah satu jenis pemodelan kualitas udara yang dapat digunakan adalah model dispersi, dimana kecepatan dispersi dipengaruhi oleh kondisi meteorologis di wilayah studi.

Gaussian *plume* model merupakan model matematika yang cocok digunakan untuk mempresentasikan proses disperse polutan di udara, terutama dari sumber titik seperti halnya disperse di sekitar cerobong asap. Secara luas, model Gauss digunakan untuk mengestimasi dampak polutan non reaktif dari sumber titik atau garis. Pemodelan disperse polutan dengan model Gaussian telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti pada penelitian Noorollahi (2010) mengenai pemodelan disperse H_2S dan CO_2 dari PLTP Nesjavellir, Islandia dan Rahmadhani (2017) terkait pemodelan disperse pencemaran udara sumber majemuk untuk industri semen di Tuban.

Dalam penelitian ini dilakukan proses analisis sekaligus penggambaran pola disperse menggunakan model umum disperse Gauss dengan sumber emisi dari sumur bor pada tahap eksplorasi proyek PLTP di wilayah kerja panas bumi Arjuno-Welirang. Melalui model disperse yang digunakan, diharapkan dapat diperkirakan konsentrasi polutan di berbagai titik berdasarkan kondisi meteorologi wilayah studi, untuk selanjutnya dilakukan visualisasi data dengan menggunakan *software*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas udara di sekitar WKP Arjuno Welirang pada kondisi eksisting?
2. Berapa beban emisi yang dihasilkan dari aktivitas alat berat pada kegiatan konstruksi?
3. Bagaimana pola persebaran pencemaran udara berdasarkan model sebaran Gauss dari sumber sumur bor eksplorasi geothermal?
4. Berapa besar konsentrasi maksimum polutan berdasarkan perhitungan menggunakan model Gauss dari sumber sumur bor eksplorasi geothermal di WKP Arjuno Welirang?

1.3. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan permasalahan yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian adalah :

1. Menentukan kualitas udara di lingkungan WKP Arjuno Welirang pada kondisi eksisting.
2. Mengetahui kemampuan beban emisi yang dihasilkan dari penggunaan kendaraan alat berat.
3. Menentukan pola sebaran pencemaran udara yang dominan di lingkungan WKP Arjuno Welirang.
4. Mengetahui nilai konsentrasi maksimum pencemar berdasarkan model sebaran Gauss yang berasal dari sumber sumur bor eksplorasi geothermal.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Bahan informasi publik mengenai tingkat pencemaran udara PLTP di wilayah kerja panas Arjuno Welirang
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi tambahan kepustakaan
3. Dapat digunakan sebagai referensi dasar dalam melakukan penelitian lanjutan
4. Dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam pengambilan kebijakan oleh instansi terkait pengendalian oencemaran lingkungan

1.5. Batasan Masalah

Batasan Masalah dari Penelitian ini, yaitu :

1. Sumber emisi yang dihitung adalah dari sumur bor eksplorasi geothermal.
2. Parameter yang dianalisis adalah polutan dominan yang dihasilkan dari tahap Eksplorasi panas bumi
3. Tidak melakukan perhitungan emisi yang dilakukan oleh manusia
4. Penelitian yang dilakukan berfokus pada lingkup area tapak proyek pembangunan dan pengujian sumur bor eksplorasi di WKP Arjuno Welirang.
5. Penelitian dilakukan hanya pada tahap eksplorasi pemanfaatan geothermal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Berdasarkan Undang-Undang No. 21 Tahun 2014, dijelaskan apabila panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Adapun menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 21 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) adalah kegiatan yang memproduksi tenaga listrik dengan memanfaatkan panas bumi yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin yang seporos dengan generator sehingga membangkitkan tenaga listrik (Ishlah, 2007).

Pemanfaatan uap panas bumi dapat diperoleh setelah dilakukan tahap pengeboran (eksplorasi) dan eksploitasi (tahapan produksi). Apabila dibandingkan dengan energi lain, pembangkit listrik tenaga panas bumi dikatakan lebih ramah lingkungan karena dapat mengurangi penggunaan energi fosil, mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) melalui program membangkitkan listrik dengan energi terbarukan yang dijelaskan dalam Peraturan Presiden Nomor. 05 Tahun 2006 dan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui bauran energi. Akan tetapi pemanfaatan energi panas bumi sebagai pembangkit listrik juga perlu diperhatikan karena dalam prosesnya menghasilkan beberapa dampak negatif, salah satunya adalah limbah B3 yang akan menimbulkan masalah baru dalam komponen lingkungan dan kesehatan apabila tidak dilakukan pengelolaan lebih lanjut (Mei, 2019).

Menurut Ayuningtyas (2019), berdasarkan data dari Badan Geologi Kementerian ESDM (2017), dikatakan apabila potensi panas bumi di Indonesia menduduki peringkat kedua terbesar di Dunia sedangkan untuk kategori kapasitas terpasang PLTP Indonesia menduduki peringkat ketiga (**Tabel 2.1**). Dari keseluruhan potensi panas bumi di dunia yang mencapai 122,7 GW untuk saat ini baru dimanfaatkan sebesar 10,58% atau sekitar 12,9 GW. Kecilnya angka pemanfaatan panas bumi sebagai sumber energi alternatif disebabkan karena beberapa faktor diantaranya biaya investasi awal dan biaya operasional yang tergolong cukup mahal apabila dibandingkan dengan sumber energi minyak dan gas. Tingginya biaya investasi awal dan biaya operasional tersebut mengakibatkan tidak dapat bersaing dengan harga energi konvensional yang masih disubsidi (Mary *et al*, 2017).

Tabel 2. 1 Potensi dan Kapasitas Terpasang Panas Bumi Dunia Tahun 2017

No	Negara	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)
1	Amerika Serikat	30.000	24,44%
2	Indonesia	28.508	23,23%
3	Jepang	23.400	19,07%
4	Kenya	15.000	12,22%
5	Islandia	5.800	4,73%
6	Meksiko	4.600	3,75%
7	Turki	4.500	3,67%
8	Filipina	4.000	3,26%
9	Selandia Baru	3.650	2,97%
10	Italia	3.270	2,66%
	Jumlah	122.728	100%

Sumber : Ditjen EBTKE KESDM (2017)

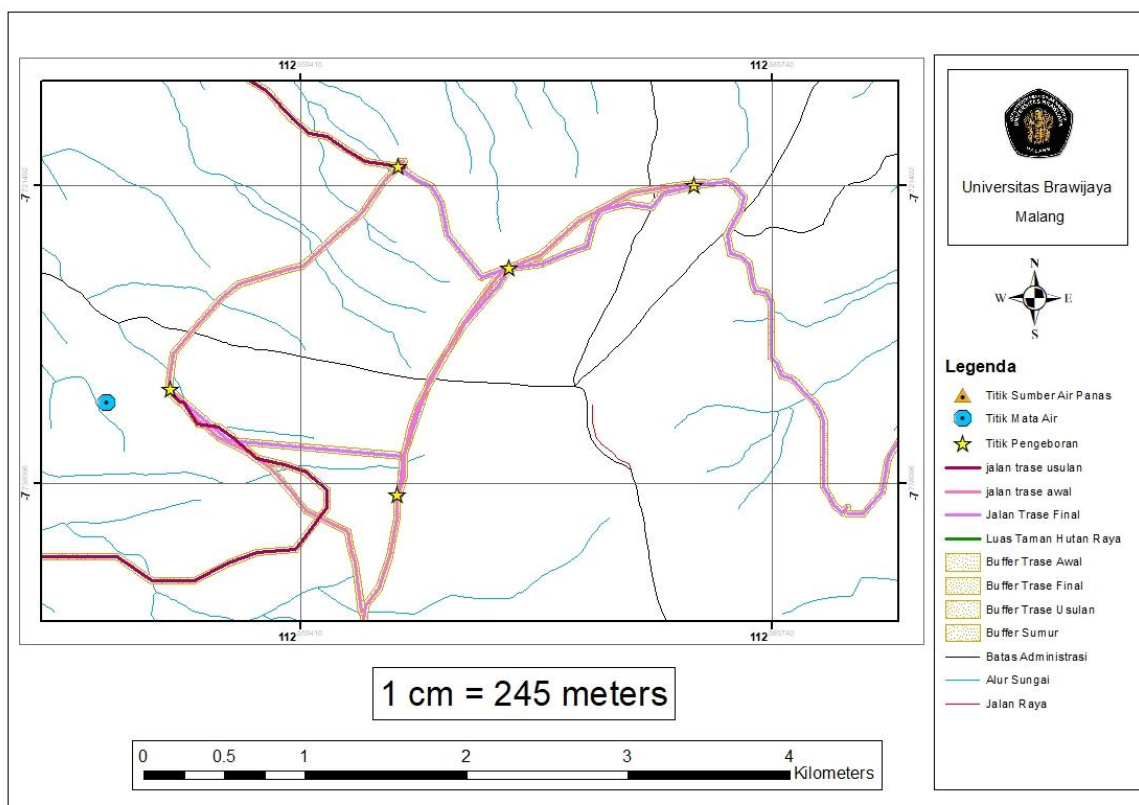
2.2. Tahap Eksplorasi pada Kegiatan Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Kegiatan operasional panas bumi meliputi 4 tahapan yaitu survei pendahuluan, eksplorasi, studi kelayakan, eksploitasi dan pemanfaatan. Adapun pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada tahap eksplorasi, lebih tepatnya pemboran eksplorasi. Eksplorasi dapat diartikan sebagai rangkaian kegiatan yang meliputi penyelidikan geologi, geofisika, geokimia, pengeboran uji, dan pengeboran sumur eksplorasi yang bertujuan untuk memperoleh dan menambah informasi kondisi geologi bawah permukaan untuk menemukan dan mendapatkan perkiraan potensi panas bumi yang memiliki tekanan cukup tinggi untuk menggerakkan turbin penghasil listrik (Peter *et al*, 1982).

Tahapan pemboran eksplorasi dilakukan untuk membuktikan ketersediaan sumberdaya panas bumi pada daerah studi yang telah diselidiki dari tahap sebelumnya dan sekaligus untuk menguji model sistem panas bumi yang dibuat berdasarkan data hasil survei. Jumlah sumur eksplorasi bergantung pada luas daerah yang diduga berpotensi memiliki energi panas bumi. Adapun untuk penentuan kedalaman sumur tergantung pada kedalaman reservoir yang diperkirakan dari data hasil survei geologi, geofisika dan geokimia yang telah dilakukan sebelumnya, pada umumnya kedalaman sumur eksplorasi berada pada kisaran kedalaman 1.000 sampai 3.000 meter (Alfath, 2011).

Pada tahap eksplorasi geothermal terdapat dua jenis pemboran yang biasa digunakan yaitu pemboran sumur lubang kecil (*deep slim hole*) dan pemboran sumur lubang konvensional (*convensional hole*). Para pelaksana tahap eksplorasi pemanfaatan panas bumi PT. Geo Dipa Energi di WKP Arjuno Welirang menggunakan *deep slim hole* yang merupakan kegiatan jenis pengeboran sumur dengan diameter lebih kecil daripada *convensional hole* (Mackenzie

et al,2017). Penerapan *slim hole* cenderung lebih banyak digunakan karena diameter sumur yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan *convensional hole* sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi lebih rendah sekaligus mengurangi besarnya resiko kegagalan pemboran (Ayuningtyas, 2019). Adapun peta lokasi dari rencana sumur bor eksplorasi panas bumi dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



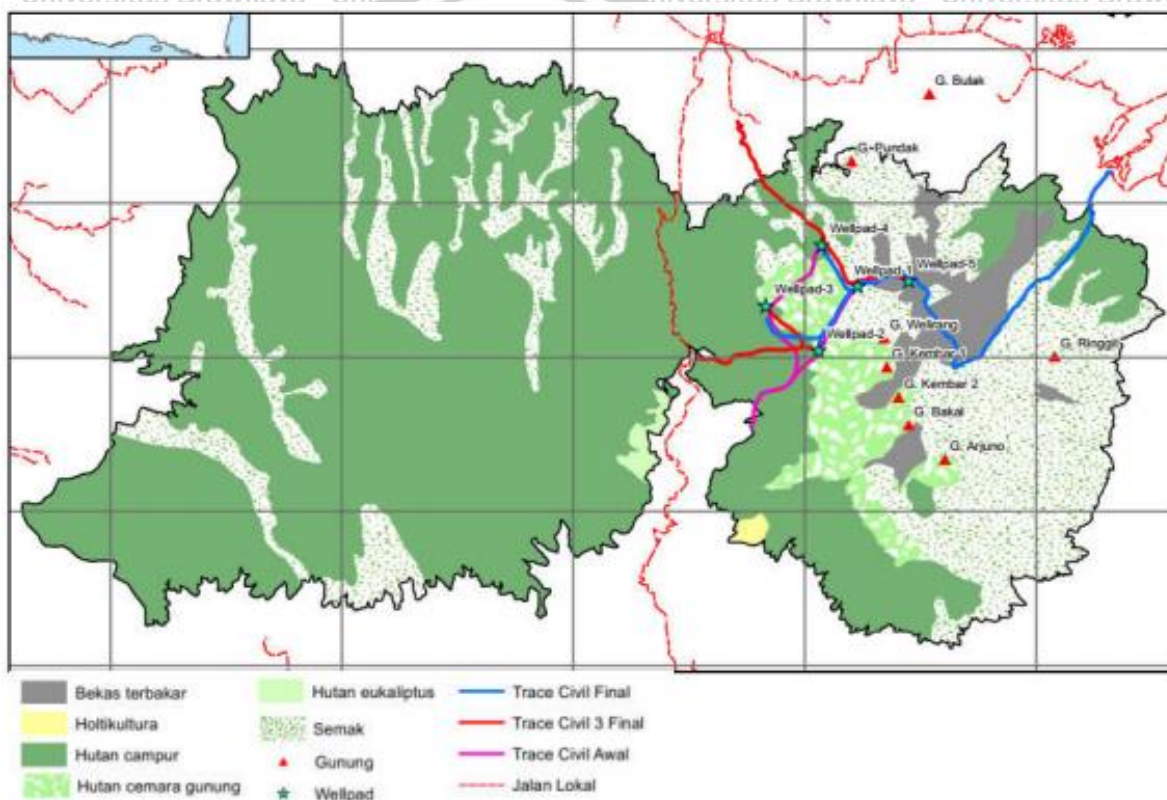
Gambar 2. 1 Peta lokasi wellpad-sumur eksplorasi Arjuno-Welirang

Sumber: Laporan 1 Tim UKL UPL UB

2.3. Tahura R. Soerjo

Menurut Undang-undang Nomor 5 Tahun 1990, taman hutan raya atau sering disebut tahura merupakan pelestarian alam dengan tujuan untuk koleksi tumbuhan dan atau satwa yang alami atau buatan, jenis asli dan atau bukan asli, yang dimanfaatkan bagi kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, Pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata dan rekreasi. Tahura merupakan bentuk dari pelestarian alam terkombinasi, antara pelestarian eks-situ dan in-situ. Namun demikian, fungsi pasti dari sebuah hutan raya adalah sebagai etalase keanekaragaman hayati, tempat penelitian tempat penangkaran jenis, serta juga sebagai tempat wisata. Tahura juga dapat dikatakan sebagai sistem penyangga kehidupan terutama dalam pengaturan tata air menjaga kesuburan tanah, mencegah erosi, menjaga keseimbangan iklim mikro, serta pengawetan keanekaragaman hayati (Erwin et al, 2017).

Tahura Raden Soerjo merupakan salah satu tahura di Indonesia yang terdapat di Provinsi Jawa Timur. Secara administratif, wilayah Tahura R. Soerjo ini meliputi Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Malang, Kabupaten Jombang, Kabupaten Pasuruan dan Kota Batu. Kawasan Tahura Raden Soerjo memiliki wilayah seluas 27.868,30 Ha dengan luasan kawasan hutan lindung 22.908,3 Ha dan kawasan cagar alam Arjuno-Lalijiwo (PHPA) 4.960 Ha. Adapun pengelolaan Tahura R. Soerjo dilakukan oleh unit Pelaksana teknis di bawah Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur. Tahura Raden Soerjo merupakan kawasan pelestarian alam yang dimanfaatkan untuk tujuan koleksi tumbuhan dan atau satwa yang dimanfaatkan guna kepentingan ilmu pengetahuan, penelitian, pendidikan, budaya, budidaya, pariwisata dan rekreasi (UPT Tahura Raden Soerjo, 2014). Adapun peta tutupan lahan kawasan Tahura R. Soerjo dapat dilihat pada **Gambar 2.2** berikut.



Gambar 2. 2 Tutupan Lahan di Kawasan Tahura Raden Soerjo

Sumber : Laporan 1 Tim UKL UPL UB

2.4. Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999, pencemaran udara dapat didefinisikan sebagai masuknya unsur-unsur berbahaya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara ambien akan mengalami penurunan sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Berdasarkan sumbernya pencemaran terdiri dari dua jenis, yaitu pencemaran akibat sumber alamiah (*natural sources*) yang kita ketahui terjadi karena letusan gunung berapi dan yang kedua adalah pencemaran

yang diakibatkan oleh kegiatan manusia (*anthropogenic sources*) dimana sumber pencemar dapat dihasilkan dari transportasi, emisi pabrik, dan lain sebagainya. Pencemaran dapat terjadi di dalam rumah atau yang sering dikenal dengan istilah pencemaran dalam ruang (*indoor pollution*) dan terdapat pencemaran di luar ruangan (*outdoor pollution*) yang disebabkan dari emisi kendaraan bermotor, industri, dan proses alami makhluk hidup. Selain itu sumber pencemar dapat dihasilkan dari sumber bergerak maupun sumber diam. Sumber bergerak adalah aktifitas lalu lintas kendaraan bermotor sedangkan sumber diam terdiri atas pembangkit listrik, industri dan juga rumah tangga (Simanjuntak, 2007).

Baku mutu udara ambien dan emisi sumber tidak bergerak untuk kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas yang tertuang dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 10 Tahun 2009. Adapun parameter yang akan diuji pada penelitian ini meliputi senyawa SO_2 , NO_2 , TSP, CO_2 , HC dan H_2S dengan baku mutu kualitas udara sebagai berikut :

Tabel 2. 2. Baku Mutu Kualitas Udara

No.	Parameter	Baku Mutu (mg/Nm^3)
1.	Debu (TSP)	230 (*) 300 (**)
2.	Sulfur dioksida (SO_2)	150 (*)
3.	Nitrogen Dioksida (NO_2)	200 (*)
4.	Hidrogen Sulfida (H_2S)	100 (**)
5.	Hidrokarbon (HC)	160 (*) 5000 (**)

(*) Baku Mutu Berdasarkan PPRI No. 22 Tahun 2001 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

(**) Baku Mutu Berdasarkan Peraturan Gubernur No. 10 Tahun 2009

Menurut Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 paparan gas H_2S yang diperkenankan terhadap pekerja adalah sebesar 1 ppm. *American National Standard Institute* (ANSI) telah mengeluarkan standard efek paparan H_2S terhadap kesehatan manusia sekaligus dengan efek fisik gasnya berdasarkan tingkatan konsentrasi gas tersebut. Adapun Beberapa peraturan yang terkait dengan ambang batas gas H_2S tertera dalam **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2. 3. Nilai Ambang Batas H_2S di Lingkungan Kerja dan Kebauan

ACGIH	SNI 19-232-2005	Permenakertrans No.PER.13/MEN/X/2011	KepMenLH No.KEP50/MENLH/11/1996
10 ppm (TWA)	10 ppm (TWA)	1 ppm	0.02 ppm

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja, nilai ambang batas gas CO₂ adalah 5000 BDS (Bagian Dalam Sejuta, bagian uao atau gas per juta volume dari udara terkontaminasi).

2.5. Perhitungan Emisi CO₂

Metode perhitungan tapak karbon yang umum digunakan adalah metode IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dimana menurut Lundie dkk (2009), petunjuk IPCC umum digunakan dalam inventaris Gas Rumah Kaca (GRK) pada level nasional, individual maupun organisasi. Database IPCC meliputi emisi faktor untuk seluruh sektor kegiatan. Menurut Nugrahayu (2015), berdasarkan IPCC 2006 guidelines dapat diketahui apabila ketelitian penghitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) diklasifikasikan menjadi 3 tingkat ketelitian. Tingkat ketelitian perhitungan dikenal dengan istilah "Tier" sebagaimana dijelaskan berikut ini.

- Tier 1 : Estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC.
- Tier 2 : Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik suatu Negara atau suatu pabrik (country specific/plant specific)
- Tier 3 : Estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu Negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu Negara atau suatu pabrik (country specific/plant specific).

Menurut PP No.71 Tahun 2011 faktor emisi dapat diartikan sebagai besaran emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu adapun Faktor Emisi Spesifik (FES) berdasarkan IPCC (2006) diartikan sebagai faktor emisi yang diperoleh dari perhitungan menggunakan data aktivitas dari suatu negara atau daerah. Karena faktor emisi spesifik suatu negara telah memperhitungkan kondisi negara tersebut maka tingkat ketidakpastian pada Tier 2 lebih baik dibandingkan dengan tingkat ketidakpastian pada Tier 1 dan untuk kondisi suatu daerah atau negara tidak memiliki faktor emisi spesifik, proses inventarisasi emisi dapat menggunakan Tier 1. Pada Tier 1 faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi default atau faktor emisi yang telah ditetapkan secara internasional. Nilai dari Faktor Emisi default untuk tiap penggunaan bahan bakar berbeda-beda, menurut IPCC 2006 faktor emisi untuk beberapa bahan bakar dapat dilihat pada **Tabel 2.4** dan nilai kalor BBM di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2. 4. Tabel Nilai Faktor Emisi Default

Bahan Bakar	Tipikal Faktor Emisi Default (kg/TJ)
Bahan Bakar Minyak	
Gasolin	69300
Gas / Solar	74100
Biomassa	
Kayu Bakar	112000
Arang	112000
Biomassa Solid Lainnya	100000

Sumber : IPCC, 2006

Tabel 2. 5. Nilai Kalor Bahan Bakar Minyak di Indonesia

Bahan Bakar	Nilai Kalor (TJ/L)	Keterangan
Gasolin (Premium, Pertamina, Pertamina Plus)	33x10 ⁻⁶	
Solar (HSD,ADO)	33x10 ⁻⁶	HSD : High Speed Diesel ADO : Automotive Diesel Oil

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

2.6. Daya Serap Vegetasi

Tumbuhan melakukan fotosintesis sebagai bentuk upaya pemenuhan kebutuhan tanaman tersebut. Proses fotosintesis yang berlangsung pada klorofil meliputi penyerapan CO₂ dan air yang selanjutnya diolah oleh tanaman glukosa dan oksigen dengan bantuan sinar matahari. Kemampuan tanaman sebagai penyerap CO₂ akan berbeda-beda, dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya mutu klorofil yang ditentukan berdasarkan jumlah magnesium dalam tanaman yang menjadi inti klorofil. Semakin besar tingkat magnesium, daun akan berwarna hijau gelap (Alamendah, 2010).

Menurut Kurdi (2008) daerah yang hijau, kerimbunan, ketinggian vegetasi dapat dijadikan syarat tutupan vegetasi menyerap emisi dengan baik. Fakuara (1987) menyatakan apabila pertumbuhan tanaman yang cepat, ketahanan terhadap gas tertentu, dan yang memiliki stomata dapat dijadikan acuan tutupan vegetasi tersebut menyerap emisi. Jenis tutupan vegetasi yang baik dapat dilihat dari jenis tutupan vegetasi tersebut yakni jenis pohon, semak, rumput, dan sawah (Pradiptyas, 2011). Daya serap CO₂ oleh tutupan vegetasi dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2. 6. Daya Serap Tutupan Vegetasi

Tipe Tutupan	Daya Serap Gas CO ₂ (Ton/Ha/Tahun)
Pohon	569,07
Semak Belukar	55
Padang Rumput	12

Tipe Tutupan	Daya Serap Gas CO ₂ (Ton/Ha/Tahun)
Sawah	12

Sumber : Nugraheni, 2018

2.7. Limbah Gas PLTPB

Kegiatan usaha industri panas bumi menghasilkan limbah yang termasuk dalam kategori limbah B3 karena sifat dan juga konsentrasinya yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Karakteristik yang termasuk dalam limbah B3 diantaranya mudah meledak, mudah teroksidasi, mudah menyala, bersifat reaktif, beracun, berbahaya, menyebabkan infeksi, korosif dan karsinogenik. Adapun limbah gas yang dihasilkan dari industri PLTPB diantaranya mengandung karbondioksida (CO₂), *Total Suspended Particulate* (TSP), hydrogen sulfide (H₂S), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂). Diantara polutan tersebut, polutan yang dominan dihasilkan adalah Karbondioksida (80%) diikuti hidrogen sulfida (9,5%) dan sisanya adalah polutan lain yang dihasilkan termasuk karbon monoksida, TSP, hidrokarbon, sulfur dioksida, nitrogen dioksida dan lain sebagainya (Kinga, 2016).

2.7.1. Karbondioksida (CO₂)

Gas rumah kaca yang paling berpengaruh dalam memicu pemanasan global salah satunya merupakan karbon dioksida (CO₂) yang menyumbangkan 9 hingga 26% dari total gas rumah kaca dengan potensi radiasi pemicu pemanasan global 56% dari potensi total gas rumah kaca. Di sisi lain, CO₂ juga merupakan gas yang memiliki kemampuan paling lama untuk bertahan di atmosfer (*the mayor long-lived greenhouse gasses*) dan bersirkulasi di atmosfer selama kurang lebih dalam kurun waktu 75 tahun (Rahmawati, 2012). Menurut Institut Nasional untuk Kesehatan dan Keamanan Kerja Amerika Serikat (NIOSH), meskipun tidak berdampak langsung CO₂ berpotensi dapat mempengaruhi kondisi kesehatan jantung dan menyebabkan penurunan gaya kontraktil. Pada konsentrasi 3% di udara, CO₂ menjadi bersifat narkotik ringan dan menyebabkan kenaikan tekanan darah dan denyut nadi serta menurunkan daya dengar. Pada kisaran konsentrasi 5% CO₂ dapat menyebabkan stimulasi pusat pernafasan, pusing-pusing, penurunan kesadaran dan sukar bernafas. Konsentrasi 8% dapat menyebabkan sakit kepala, tubuh berkeringat, penurunan penglihatan, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5-10 menit (Asmara, 2015).

2.7.2. *Total Suspended Particulate* (TSP)

Menurut Yuwono (2012), TSP dapat didefinisikan sebagai suatu partikel halus yang keberadaannya melayang dalam udara ambien dengan kecepatan pengendapan yang sangat lambat. Keberadaan debu di lingkungan kerja dapat memberikan pengaruh yang buruk bagi kesehatan diantaranya resiko timbulnya penyakit salesma

dan infeksi pada saluran pernafasan lainnya. Adapun resiko tersebut diperkuat oleh faktor debu dan kondisi kesehatan serta imunitas masing-masing individu yang terpapar. Ukuran partikel, bentuk, konsentrasi, daya larut dan sifat kimiawi, serta lama paparan merupakan faktor debu yang dapat meningkatkan resiko pemicu timbulnya penyakit saluran pernafasan (Siswati, 2017). Keberadaan TSP yang melayang bebas di udara dapat diserap oleh tubuh dengan mekanisme terlebih dahulu melalui inhalasi untuk selanjutnya masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli sehingga dalam jangka panjang akan mengakibatkan penurunan fungsi paru (Suma'mur, 2009).

2.7.3. Hidrogen sulfide (H_2S)

Hidrogen sulfide (H_2S) merupakan salah satu senyawa kimia yang memiliki sifat fisik tidak berwarna, dan juga bersifat *flammable* atau mudah terbakar, *explosive* atau mudah meledak, berbahaya, beracun, korosif, lebih berat dari udara dan memiliki bau khas seperti telur busuk. Paparan dengan gas hydrogen sulfide dalam kadar rendah dapat menyebabkan iritasi mata, hidung, tenggorokan, menyebabkan batuk, pusing, mual muntah dan sistem pernafasan. paparan hydrogen sulfida (H_2S) pada kadar tinggi akan menyebabkan syok, kejang, sukar bernafas, tidak sadar atau koma, dan dapat berujung kematian. Efek lethal tersebut dapat dirasakan setelah beberapa hirupan atau bahkan dapat langsung terasa hanya dalam satu hidupan gas hydrogen sulfide dalam kadar tinggi (Mei, 2019). Dampak paparan H_2S terhadap kesehatan manusia beserta dengan efek fisik gasnya berdasarkan tingkat konsentrasi gas tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2. 7. Efek H_2S Terhadap Manusia Sesuai Tingkatan Konsentrasinya

Kadar H_2S (ppm)	Efek pada Manusia
0,13	Bau minimal yang masih terasa
4.6	Mudah dideteksi, bau yang sedang
10	Permulaan iritasi mata dan mual berair
27	Bau yang tidak sedap dan tidak dapat ditolerir
100	Batuk-batuk, iritasi mata dan indera penciuman sudah tidak berfungsi
200-300	Pembengkakan mata dan rasa kekeringan di kerongkongan
500-700	Kehilangan kesadaran dan bisa mematikan dalam waktu 30 menit – 1 jam
Lebih dari 700	Kehilangan kesadaran dengan cepat dan berlanjut kematian

Sumber : ANSI, 1978

2.7.4. Hidrokarbon

Menurut Wisnu *et al* (2004), hidrokarbon merupakan suatu senyawa yang dihasilkan dari ikatan kimia antara karbon (C) dan hydrogen (H). senyawa hidrokarbon merupakan salah satu pencemar udara yang dapat ditemukan dalam wujud cairan,

padatan, maupun bentuk gas. Adapun bentuk kimia dari hydrogen terbagi menjadi *Olefine, Nafthaline, Parafine* dan aromatic N_2O (Razali *et al*, 2014). Keberadaan hidrokarbon dalam bentuk gas diketahui memiliki resiko yang lebih berbahaya apabila dibandingkan dengan fase lain. Gas hidrokarbon yang terhirup dapat mengakibatkan iritasi pada bagian membrane mukosa dan infeksi paru. Selain itu hidrokarbon juga dapat berdampak pada penurunan kemampuan penyerapan oksigen dalam tubuh dan apabila konsentrasi hidrokarbon yang terhirup melebihi 10% maka secara lebih lanjut akan mengakibatkan hilang kesadaran pada manusia (Putra dan Syafei, 2012).

2.7.5. Sulfur Dioksida (SO_2)

Gas Sulfur Dioksida (SO_2) adalah salah satu jenis polutan hasil dari proses pembakaran batu bara dan minyak bumi, serta proses lain yang mengandung sulfat (Wark dan Warner, 1981). Sulfur dioksida diketahui dapat berasal dari dua sumber yang meliputi sumber alami dan sumber buatan (Ertika *et al*, 2014). Untuk sumber alami, gas sulfur dioksida dapat dihasilkan dari gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba serta reduksi sulfat secara biologis. Adapun untuk sumber buatan diantaranya pembakaran bahan bakar minyak, gas, maupun batu bara dengan kandungan sulfur yang tinggi (Slamet, 2009). Paparan SO_x dapat menyerang selaput lender pada saluran nafas hingga ke paru-paru. Gas SO_x juga dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan yang akan mempengaruhi pergerakan silia yang menimbulkan ketidakmampuan silia dalam membersihkan saluran bernafasan sehingga terjadi peningkatan produksi lender dan secara lebih lanjut akan mengakibatkan penyempitan saluran pernafasan. hal tersebut akan menjadikan penderita mengalami kesulitan bernafas dan bakteri yang berada dalam tubuh tidak dapat dikeluarkan dari saluran pernafasan yang akan memudahkan terjadinya infeksi saluran pernafasan (Mukono, 2002).

2.7.6. Nitrogen Dioksida (NO_2)

Menurut Riviwanto (2017), gas nitrogen dioksida merupakan salah satu gas yang bersifat toksik dengan warna coklat kemerahan serta bau yang menyengat seperti asam nitrat. Keberadaan gas Nitrogen dioksida di atmosfer dalam konsentrasi yang tinggi dapat mengakibatkan udara menjadi berwarna kecoklatan atau biasa disebut sebagai kondisi *brown air cities* sebagai tanda terbentuknya *photochemical smog* hasil reaksi dari NO_2 dengan panas matahari dan hidrokarbon di udara (Soedomo, 2001). Nitrogen dioksida diketahui sebagai bentuk nitrogen dengan tingkat toksisitas 4 kali lebih berbahaya dari bentuk NO. NO_2 memiliki kemampuan untuk menurunkan fungsi jantung dan juga meningkatkan gejala penyakit asma. Selain berdampak buruk bagi kesehatan, apabila nitrogen dioksida dengan sulfur dioksida bereaksi dengan butir-butir air di awan maka akan menghasilkan hujan asam yang

akan memberikan dampak negative bagi lingkungan diantaranya menurunkan tingkat kesuburan tanah dan mengancam kelangsungan hidup biota air karena mengasamkan danau dan aliran sungai (Rofienda, 2004).

2.8. Dispersi Gauss

Menurut Abidin (2019), Dispersi Gauss dapat diartikan sebagai model perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan algoritma agar kondisi dari disperse polutan yang ada di atmosfer dapat dijelaskan dengan cara yang lebih sederhana. Pada penerapan disperse Gauss, input yang diperlukan berasal dari data meteorologi dan data emisi untuk selanjutnya dihitung dan akan dihasilkan suatu output dalam bentuk konsentrasi polutan yang sama pada titik tertentu dari objek simulasi.

Pada dasarnya terdapat beberapa model yang bisa digunakan dalam pemodelan dispersi polutan. Diantaranya adalah model Eulerian, model *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan juga model Lagrangian. Diantara empat model tersebut, model Gaussian dianggap paling cocok digunakan untuk memodelkan sebaran polutan dikarenakan model Gaussian memiliki keunggulan lebih mudah dibandingkan yang lain sekaligus dapat melukiskan pola 3 dimensi dari semburan (*plume*) emisi secara matematis (De Visscher, 2014).

2.9. Sistem Informasi Geografis

Salah satu sistem pengolahan data yang dewasa ini banyak digunakan di beberapa negara maju khususnya dalam bidang survei dan pemetaan adalah Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG merupakan suatu sistem informasi yang terdiri atas *software*, *hardware*, data dan pengguna serta institusi untuk menyimpan data yang berhubungan dengan semua fenomena yang ada di muka bumi. Data-data yang berupa detail fakta, kondisi dan informasi disimpan dalam suatu basis data dan akan digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti analisis, manipulasi, penyajian dan sebagainya (Kholil, 2017).

Sistem Informasi Geografis memiliki kemampuan dalam menghubungkan beberapa data pada suatu titik di muka bumi, menggabungkannya, menganalisa dan selanjutnya dipetakan untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Data yang dapat diolah dalam SIG adalah data spasial atau dapat dikatakan sebagai data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Oleh karena itu aplikasi SIG dapat menghasilkan *output* berupa data seperti lokasi, kondisi, pola dan pemodelan (Annugerah *et al*, 2016).

2.10. Hierarki Mitigasi

Kegiatan eksplorasi panas bumi telah diidentifikasi dapat memberikan dampak terhadap kualitas lingkungan. Langkah-langkah penanganan kerusakan lingkungan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah meningkatkan peran aktif pemrakarsa

dalam upaya pencegahan dan pemulihan lingkungan. potensial dampak yang mungkin ditimbulkan dari kegiatan eksplorasi ditentukan dengan pendekatan Hierarki Mitigasi (*Mitigation Hierarchy*) yang terdiri atas beberapa komponen sebagai berikut (CSBI, 2015) :

a. Menghindari (*Avoidance*)

Menghindari ini memiliki arti mengetahui dan mengantisipasi dampak yang akan terjadi sebelum mengambil keputusan dalam perencanaan proyek.

b. Mengurangi/Memperkecil (*Minimization*)

Mengurangi/memperkecil ini memiliki arti mengetahui dan mengantisipasi dampak yang akan terjadi dengan cara mengurangi durasi, intensitas dan signifikansi pada area terdampak (dampak secara langsung, dampak secara tidak langsung maupun dampak kumulatif) dengan cara semudah mungkin.

c. Restorasi (*Restoration*)

Restorasi ini memiliki arti mengetahui dan memperbaiki jasa ekosistem yang berubah dan terdampak sesuai dengan dampak proyek yang tidak dapat dihindari (avoided) dan dikurangi (Minimized).

d. Menyeimbangkan (*Offsets*)

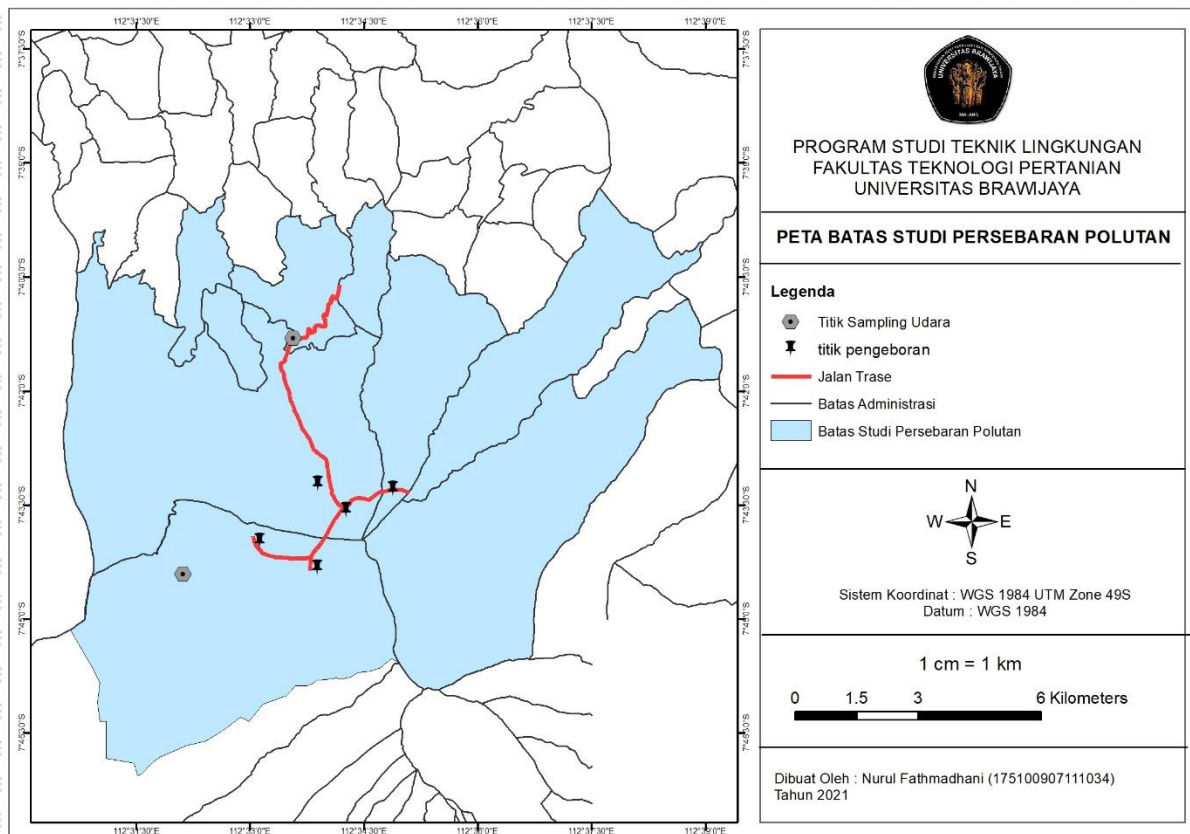
Menyeimbangkan ini memiliki arti memperkirakan keluaran/hasil berkelanjutan pada lokasi tidak terdampak proyek sehingga nantinya akan menggantikan fungsi awal secara perlahan pada lokasi terdampak proyek.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Taman Hutan Raya Raden Soeryo Jawa Timur dengan wilayah studi meliputi WKP Arjuno Welirang dan area disekitar kawasan pemanfaatan *Geothermal*. Waktu penelitian dilakukan dari bulan Januari 2021 sampai dengan bulan Juli 2021. Batasan wilayah yang dikaji dalam penelitian ini diperoleh dari batas terluar hasil tumpang susun (*overlay*) dari batas wilayah proyek, administratif. Peta batas wilayah studi hasil *overlay* ditampilkan pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3. 1. Peta Batas Wilayah Studi

3.2. Alat dan Data

3.2.1. Alat

1. Laptop atau *Personal Computer* (PC) sebagai perangkat pengolah data
2. *Software Arcgis 10.8* sebagai aplikasi pembuat peta sebaran pencemar udara
3. *Microsoft Excel* sebagai pengolah data perhitungan persamaan *Gaussian*.

3.2.2. Data

1. Peta administratif Provinsi Jawa Timur (Sumber : Badan Informasi Geospasial)
2. Data meteorologi yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Klimatologi Malang
3. Data beban emisi cerobong yang diperoleh dari literatur
4. Data profil cerobong yang diperoleh dari literatur

5. Data kecepatan gas buang pada cerobong, diperoleh dari literatur
6. Data tutupan lahan kawasan tapak proyek
7. Data penggunaan alat berat dan konsumsi BBM

3.3. Metode

Penelitian ini menerapkan metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Sebagaimana dikemukakan oleh Rukajat (2018), metode deskriptif merupakan suatu metode untuk memecahkan permasalahan yang ada pada kondisi saat ini. Dalam penyusunannya metode deskriptif meliputi proses pengumpulan data untuk selanjutnya dilakukan tahap analisis atau pengolahan data yang diakhiri dengan pengambilan kesimpulan dan penyusunan laporan untuk memperoleh kesimpulan dari hasil perhitungan dengan dukungan studi kepustakaan sehingga mampu menjelaskan kondisi dari subjek penelitian yang dilaksanakan.

Dalam penelitian ini, metode pendekatan secara kuantitatif dilakukan dalam perhitungan *point source modelling* menggunakan metode Gaussian yang kemudian dilanjutkan dengan analisis deskriptif untuk menginterpretasikan hasil perhitungan tersebut dalam bentuk peta prediksi sebaran polutan yang diolah menggunakan aplikasi ArcGis 10.4. Adapun parameter yang dianalisis meliputi H_2S dan CO_2 yang nantinya akan dianalisis lebih lanjut menggunakan Persamaan Gaussian.

3.4. Pelaksanaan

Beberapa tahapan yang harus dilaksanakan dalam penelitian ini diawali dengan tahap pengumpulan data, dilanjutkan tahap pengolahan data yang memanfaatkan aplikasi ArcGis 10.4 untuk selanjutnya dibahas lebih lanjut dalam tahap hasil dan analisis.

3.4.1. Pengumpulan Data

a. Data Primer

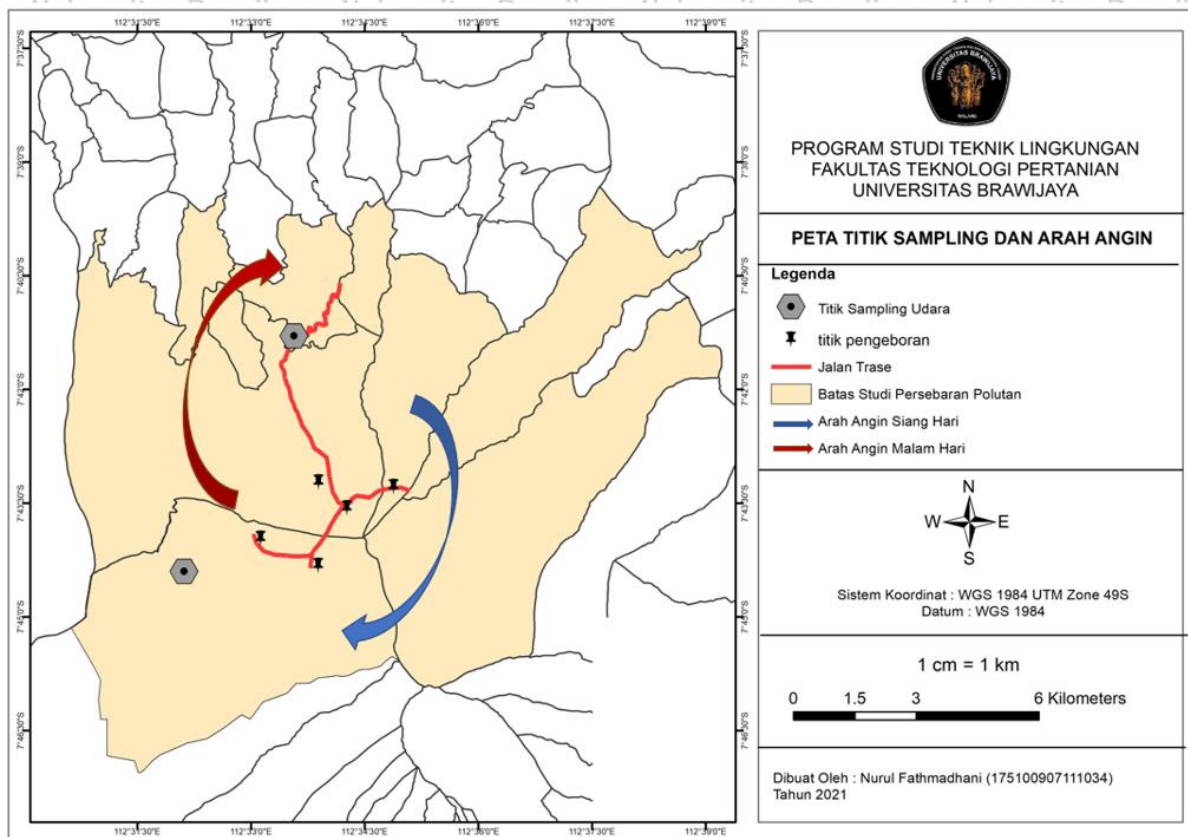
Data primer merupakan data yang dikumpulkan secara langsung di lapangan, dimana dalam penelitian ini meliputi pengukuran konsentrasi limbah gas Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi yang terdiri atas Karbondioksida (CO_2), *Total Suspended Particulate* (TSP), Hidrogen sulfide (H_2S), Hidro Karbon (HC), Nitrogen dioksida (NO_2) dan Sulfur dioksida (SO_2). Adapun pengujian akan dilakukan oleh pihak kedua dengan metode dan acuan yang digunakan dalam penentuan kadar polutan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Adapun titik sampling dari pengambilan data primer ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.

Tabel 3. 1. Metode Uji Parameter Kualitas Udara

No	Parameter	Metode	Acuan
1.	SO_2	Turbidimetri	SNI 7117.18:2009

No	Parameter	Metode	Acuan
2.	NO ₂	Griess-Saltzman	SNI 7119.2: 2017
3.	CO ₂	Pengujian dengan analisis otomatis	SNI 19-7117.10-2005
4.	H ₂ S	Biru Metilen	SNI 19-7117.7-2005
5.	HC	Flame Ionization Detector (FID)	SNI 7119.13:2009
6.	TSP	Gravimetri	SNI 19-7119.3-2005

Sumber : SNI



Gambar 3. 2. Titik Sampling Kualitas Udara

Sumber: Hasil Pengolahan, 2021

Titik sampling pengukuran kualitas udara eksisting dilakukan di Kawasan Agrotechnopark dan OWA BUPER Claket. Kondisi kawasan tapak proyek eksisting masih berupa bentang pegunungan dengan topografi curam dan kerapatan vegetasi yang tinggi. Oleh karena hal tersebut, pengukuran kualitas udara di tapak proyek tidak dapat dilakukan dengan kelengkapan alat ukur berupa HVAS yang besar dan memerlukan catu daya dalam pengoperasiannya yang bekerja selama 24 jam. Menindaklanjuti hal tersebut, penentuan lokasi sampling dilakukan di 2 kawasan pemukiman terdekat dari tapak proyek dimana untuk pemukiman terdekat di kawasan barat tapak proyek berjarak 3 km dari rencana pembangunan wellpad 3 dilakukan di area Agrotechnopark Universitas Brawijaya, Desa Sumber Brantas, Kota Batu dan di

kawasan utara tapak proyek berjarak 5 km dari rencana pembangunan wellpad 1 titik sampling berada di OWA BUPER Claket, Pacet Kabupaten Mojokerto.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada dan dapat menunjang keberlanjutan pembahasan penelitian. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
2. Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Tahun 2009 mengenai Baku Mutu Udara Ambien dan Emisi Sumber Tidak Bergerak
3. Standar Nasional Indonesia Kualitas Udara Emisi Tidak Bergerak
4. Standar Nasional Indonesia Kualitas Udara Ambien.
5. Peta administratif Provinsi Jawa Timur (Sumber : Badan Informasi Geospasial)
6. Data meteorologi yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Klimatologi Malang (BMKG) dan data satelit (NOAA NCDC)
 - a. Data arah angin bersumber dari NOAA NCDC
 - b. Data kecepatan angin bersumber dari NOAA NCDC
 - c. Data stabilitas atmosfer, radiasi matahari dan keawanan bersumber dari BMKG
7. Data beban emisi cerobong yang diperoleh dari literatur
8. Data profil cerobong yang diperoleh dari literatur
9. Data kecepatan gas buang pada cerobong, diperoleh dari literatur
10. Data tutupan lahan kawasan tapak proyek diperoleh dari kajian terdahulu
11. Data penggunaan alat berat dan konsumsi BBM diperoleh dari literatur

3.4.2. Pengolahan Data

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data meliputi beberapa tahap sebagai berikut :

3.4.2.1. Perhitungan Beban Emisi Tahap Konstruksi

Pada tahapan konstruksi digunakan berbagai jenis alat berat dalam pembangunan jalan dan pembukaan tapak proyek. Menurut Nugrahyu (2015), perhitungan emisi CO₂ yang ditemukan dengan persamaan sebagai berikut :

1) Melakukan perhitungan nilai tapak karbon / emisi CO₂ dari bahan bakar solar

$$\text{Konsumsi energi} = \text{konsumsi BBM Solar (L)} \times \text{Nilai Kalor Solar} \left(\frac{TJ}{L} \right) \dots (3.1)$$

$$\text{Emisi } CO_2 = \text{konsumsi energi} \left(\frac{TJ}{L} \right) \times \text{Faktor Emisi Solar (kg/CO}_2\text{/TJ)} \quad \dots (3.2)$$

2) Konversi jenis kendaraan ke satuan mobil penumpang

$$\text{Satuan Mobil Penumpang (SMP) Alat Berat} = 1,2 \times \text{jumlah kendaraan} \quad \dots (3.3)$$

3) Menghitung faktor emisi spesifik

$$\text{Faktor Emisi Spesifik (FES)} = \frac{\text{Emisi } CO_2 \text{ total}}{\text{Satuan Mobil Penumpang (SMP)}} \quad \dots (3.4)$$

4) Menghitung beban emisi tiap wellpad

$$\begin{aligned} \text{Beban Emisi (E)} &= \\ &\text{Faktor Emisi Spesifik (FES)} \times \text{Total Satuan Mobil Penumpang (SMP)} \quad \dots (3.5) \end{aligned}$$

5) Menghitung daya serap vegetasi

$$\text{Daya serap vegetasi} = \sum \text{luas tutupan lahan (Ha)} \times \text{Daya serap } CO_2 \left(\frac{\text{ton/Ha}}{\text{thn}} \right) \quad \dots (3.6)$$

6) Menghitung kemampuan tutupan vegetasi

$$\text{Kemampuan tutupan vegetasi} = \text{daya serap} - \text{beban emisi } CO_2 \quad \dots (3.7)$$

3.4.2.2. Perhitungan Emisi Tahap Operasi

1) Melakukan perhitungan penyelesaian persamaan Gaussian dengan menggunakan Microsoft Excel

Dari data yang telah diperoleh, dilakukan perhitungan untuk mengetahui konsentrasi polutan dari gas pada posisi x,y,z dari sumber kontinyu dengan tinggi emisi efektif H menggunakan persamaan Gaussian sebagai berikut (Arya, 1999) :

$$c(x, y, z; H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right] \left\{ \exp \left[\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \quad \dots (3.8)$$

Untuk perhitungan konsentrasi permukaan pada saat $z = 0$ dapat ditemukan dengan persamaan berikut :

$$c(x; H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right] \quad \dots (3.9)$$

Dimana :

$C(x; H)$: Konsentrasi polutan di permukaan (g/m^3)

Q : Laju emisi *steady state* (g/s)

σ_z : Parameter dispersi keputan pada arah vertical (m)

σ_y : Parameter dispersi keputan pada arah lateral (m)

u : Kecepatan angin rata-rata pada sepanjang cerobong (m/s)

x : Arah penyebaran polutan (m)

y : Jarak horizontal dari titik tengah cerobong

z : tinggi reseptor dari dasar cerobong (m)

H : tinggi efektif cerobong (m) ($H = h + \Delta h$)

Dalam menganalisa penyelesaian persamaan tersebut, perlu diketahui nilai dari beberapa koefisien yang meliputi (Aviantara, 2021) :

a. Asumsi kecepatan angin pada ketinggian z (m)

Untuk mengkonversi data kecepatan angin pada satu titik ke berbagai titik ketinggian dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^p \dots (3.10)$$

Keterangan :

u_2 : Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian z (m)

u_1 : Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian alat (m)

z_2 : Ketinggian pada u_2 (m)

z_1 : Ketinggian pada u_1 (m)

p : Konstanta yang bergantung dari kondisi stabilitas atmosfer pada kekasapan permukaan (Newman dkk, 2014).

b. Parameter Stabilitas Atmosfer

Menurut Arya (1999), penentuan klasifikasi stabilitas atmosfer menggunakan metode dari Pasquill yang kemudian dikembangkan oleh Turner, seperti pada **Tabel 3.3**. Kondisi stabilitas atmosfer terdiri atas kelas A hingga F (A = sangat tidak stabil, B = tidak stabil, C = cukup tidak stabil, D = netral, E = cukup stabil, dan F = stabil). Adapun nilai p adalah parameter stabilitas atmosfer yang terdiri atas 6 kategori dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3. 2. Klasifikasi Stabilitas Atmosfer Berdasarkan Klasifikasi Pasquill's

Kecepatan Angin Permukaan (m/s) (Ketinggian 10 m)	Siang Hari			Malam Hari	
	Radiasi Matahari yang Masuk			Keawanan	
	Kuat	Menengah	Lemah	Berawan ($\geq 4/8$)	Cerah ($\leq 3/8$)
< 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Sumber: Arya, 1999

Tabel 3. 3. Nilai p pada wilayah perkotaan

Kelas Stabilitas	Nilai p
A (Sangat tidak stabil)	0,15
B (Tidak stabil)	0,15
C (Sedikit tidak stabil)	0,20
D (Netral)	0,25
E (Cukup Stabil)	0,40
F (Stabil)	0,60

Sumber : Arya, 1999

c. Koefisien Dispersi *Gaussian*

Pada proses difusi polutan, terjadi difusi dari tiga dimensi karena molekul-molekul polutan berdifusi pada sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Selain proses difusi, pada sumbu-x juga terjadi proses adveksi atau transportasi polutan yang diakibatkan oleh angin. Adapun dalam menghitung dispersi *Gaussian* tersebut menggunakan kelas kestabilan udara sehingga didapat konstanta pembentuk koefisien dispersi *Gaussian* seperti pada **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3. 4. Koefisien Dispersi Gauss

Stabilitas (Kelas)	X < 1 km				X > 1 km		
	a	c	d	F	c	d	f
A (Sangat tidak stabil)	213	440,8	1,941	9,72	459,7	2,094	-9,6
B (Tidak stabil)	156	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2
C (Sedikit tidak stabil)	104	61	0,991	0	61	0,911	0
D (Netral)	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E (Cukup stabil)	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34
F (Stabil)	34	14,4	0,740	-0,36	62,6	0,180	-48,6

Catatan :

harga b = 0.894 untuk semua kelas

$$\delta_y = aX^b \text{ dan } \delta_z = cX^d + f \quad (3.11)$$

X = jarak konsentrasi sebaran (km)

Sumber: Handriyono dan Syafei, 2015

Berdasarkan data tersebut di atas, dengan menggunakan formulasi pada *Microsoft Excel* dapat ditemukan nilai Exp(I), Exp(II), dan C(x,y,0). Untuk berikutnya dapat ditemukan nilai x-peta, y-peta, x' dan y'.

2) Pembuatan visualisasi sebaran polutan menggunakan Software Arcgis 10.8

adapun tahapan dalam pembuatan visual sebaran polutan antara lain sebagai berikut :

- a. Menyiapkan peta digital dasar yang akan digunakan meliputi : peta administrative, peta penggunaan lahan, dan data koordinat sumber pencemar.
- b. Mengkonversi data tabel ke dalam database file (.dbf)
- c. Input data
- d. Melakukan layouting peta dengan *geoprocessing*.

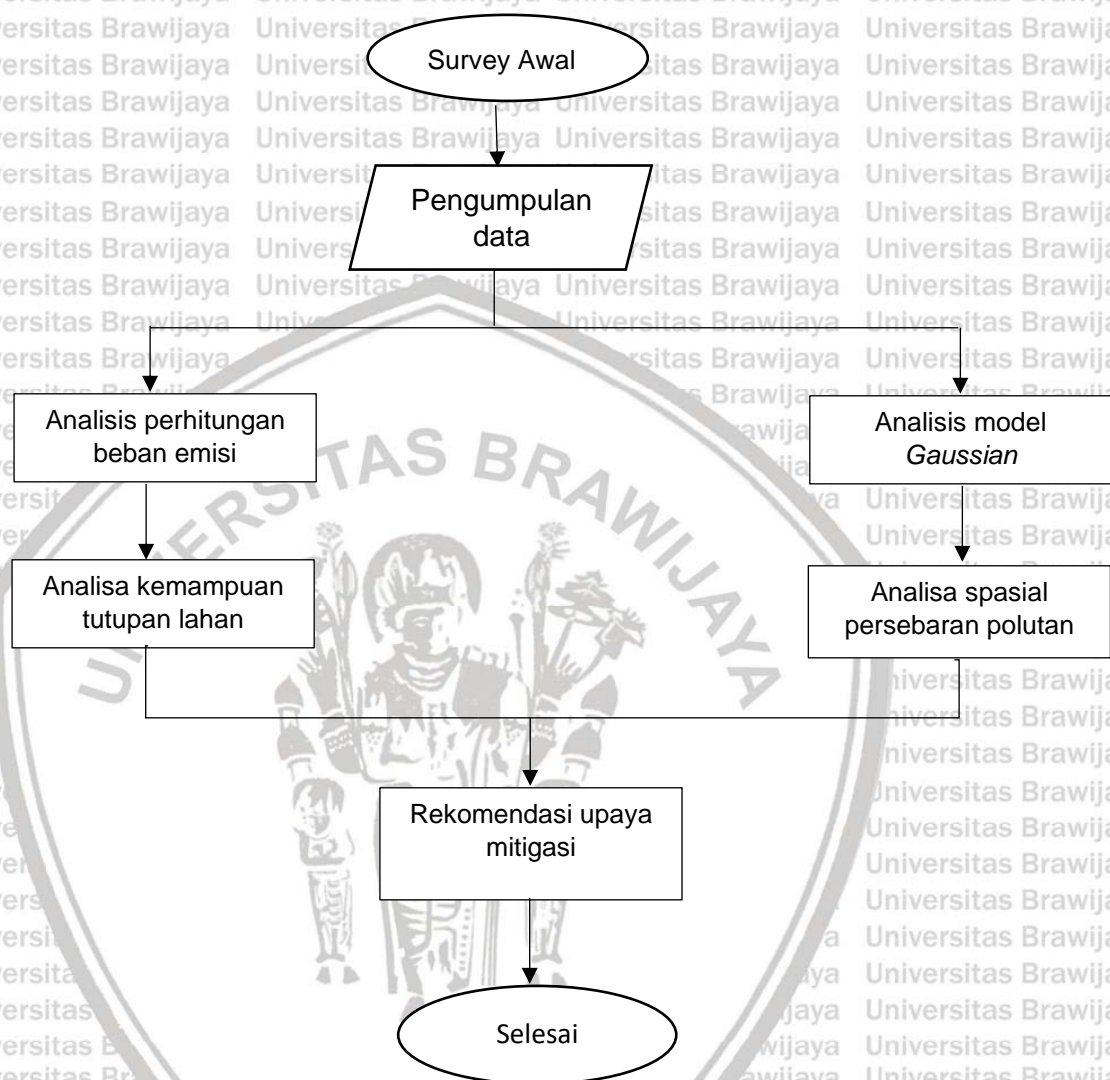
Dari hasil analisis spasial yang diproses menggunakan *Arcgis* akan dihasilkan suatu peta yang mendeskripsikan pola sebaran polutan dari sumber pencemar. pengolahan datanya dilakukan melalui proses *Geoprocessing*. Batas wilayah yang digunakan sebagai batas sebaran partikulat yaitu Tahura Raden Soerjo dan desa terdampak. Metode analisis spasial digunakan untuk menggambarkan sebaran partikulat di wilayah studi. Peta sebaran partikulat dihasilkan dari proses *overlay spacial* atau tumpang tindih peta dari masing-masing sumber emisi di PT. Geo Dipa Energy. *Overlay* ini dilakukan dengan memadukan dua layer atau lebih data spasial. Hasil dari proses analisis ini yaitu peta sebaran partikulat yang dihasilkan dari PLTPB Arjuno - Welirang. Skala konsentrasi pada gambar kontur digambarkan melalui gradasi warna dengan tujuan untuk mempermudah pembacaan gambar.

3.4.3. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini diawali dengan survey awal dilanjutkan dengan pengumpulan data. Data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisis untuk

dijadikan dasar penyusunan rekomendasi upaya mitigasi dari persebaran polutan pada tahap eksplorasi panas bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang.

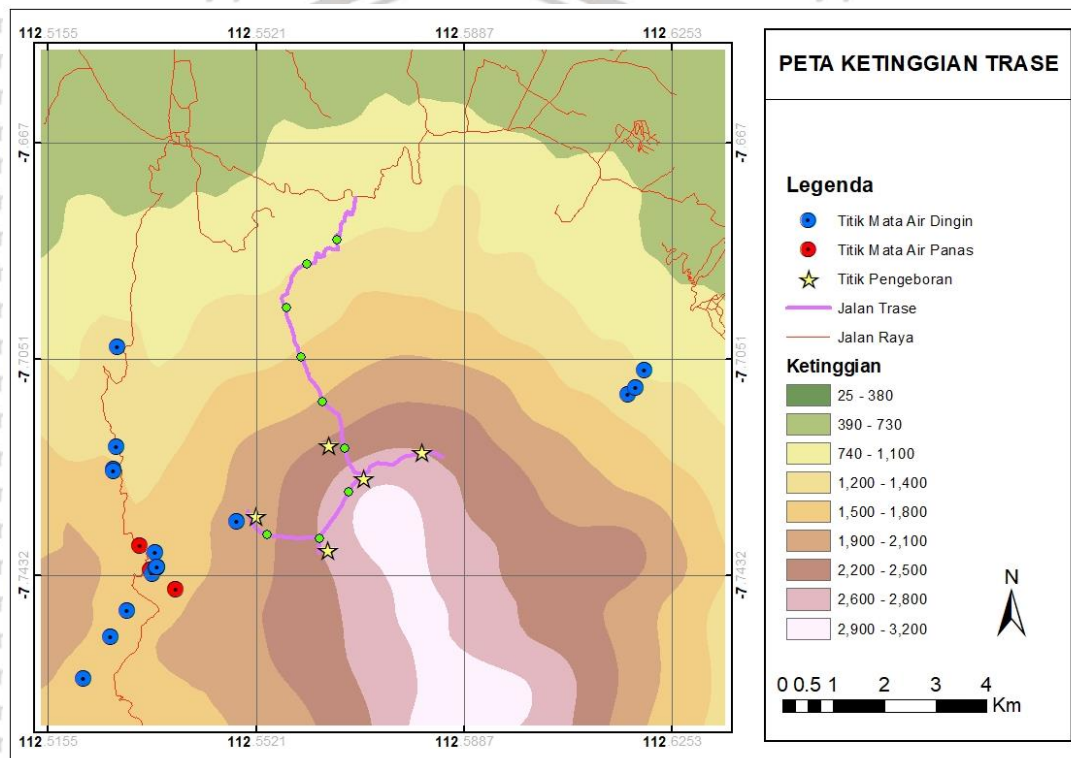
Diagram alir dari tahapan penelitian dapat dilihat sebagai berikut.



BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Tahapan Eksplorasi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang

Cakupan kegiatan eksplorasi Panas Bumi berada di kawasan Arjuno Welirang yang secara administratif terdapat di Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto, Kota Batu dan Kabupaten Pasuruan. Area eksplorasi panas bumi Arjuno Welirang memiliki lima lokasi usulan *wellpad* yang terdiri atas satu titik pengeboran di setiap *wellpad*. Hasil penelitian terdahulu yang meliputi kajian sipil dan penataan blok terkait persebaran *flora* dan *fauna* menjadi dasar pemilihan *wellpad* 1, 3 dan 4 sebagai lokasi pengeboran sumur eksplorasi. Peta lokasi *wellpad* dan rencana pembangunan *trase* jalan dapat dilihat pada **Gambar 4.1.** berikut.



Gambar 4. 1. Peta Ketinggian Trase

Sumber : Laporan UKL UPL UB

Pengeboran sumur eksplorasi dilaksanakan sebagai tindak lanjut dari hasil survei 3G (Geologi, Geokimia dan Geofisika) yang telah dilakukan PT. Geo Dipa Energi bersama LAPL ITB. Hasil survei menunjukkan potensi panas bumi untuk Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang diperkirakan dapat mencapai 284 MWe (area maksimum), 230 MWe (area *most likely*) dan 106 MWe (area minimum). Analisis yang dilakukan terhadap pelaksanaan eksplorasi panas bumi terdiri atas tahapan sebagai berikut :

a. Tahap Konstruksi

i. Konstruksi jalan akses *wellpad*

Pembangunan rencana tapak pengeboran dilakukan di Kawasan Taman Hutan Raya (Tahura) Raden Soerjo sehingga pembangunan jalan untuk akses mobilisasi peralatan dan tenaga kerja akan dimulai dari tahap pembukaan lahan. Mobilisasi dan juga demobilisasi kendaraan berat harus direncanakan sedemikian rupa agar tidak mengganggu aktivitas warga.

ii. Konstruksi tapak sumur

Pembangunan tapak sumur terdiri atas lima kandidat yang selanjutnya dipilih tiga tapak sumur yaitu tapak sumur 1, 3 dan 4 untuk dilakukan uji eksplorasi panas bumi. Indikator luasan lahan dari masing-masing tapak sumur adalah seluas 1,5 Ha yang di dalamnya dibutuhkan infrastruktur pendukung meliputi sarana penyediaan air, *soil disposal*, *stock yard* (tempat penyimpanan peralatan pengeboran, *base camp*, dan kantor).

iii. Penggunaan sumber air untuk kegiatan pengeboran dan konstruksi trase jalan dan tapak sumur

iv. Mobilisasi dan demobilisasi kendaraan dan alat berat selama kegiatan konstruksi, pemboran dan pengujian sumur

b. Tahap Operasi

i. Pengeboran

Tiga kandidat tapak sumur yang dipilih akan diuji potensi panas buminya dengan menggunakan konfigurasi *deep slim hole*. Pengeboran akan dilakukan pada kedalaman ± 2000 meter. Metode *deep slim hole* dipilih sebagai bentuk metode alternatif untuk mengurangi resiko sumber daya selama tahap eksplorasi berlangsung, hal ini dikarenakan penggunaan *standar hole* atau *big hole* dapat menyebabkan kerugian besar bagi pemrakarsa jika tidak berhasil mengkonfirmasi sumber daya panas bumi selama pengeboran eksplorasi (Adityatama, 2020).

ii. Pengujian sumur

iii. Penggunaan sumber air untuk kegiatan pengeboran dan pengujian sumur

iv. Penanganan limbah

v. Mobilisasi dan demobilisasi kendaraan dan alat berat selama kegiatan pemboran dan pengujian sumur

4.2. Prediksi Kebutuhan Alat Berat pada Proses Konstruksi

Proyek konstruksi jalan yang memegang fungsi penting atas aspek sosial, ekonomi, strategi dan teknologi telah dikaji dengan matang terkait desain, perencanaan, hingga tahap konstruksinya berikut dengan alat – alat berat yang akan digunakan dalam pelaksanaannya.

Secara umum, tahapan dari proses konstruksi pembuatan jalan terdiri atas tahap *striping*, *cut and fill*, *grading and spreading*, *compacting* dan *pavement*. Alat berat yang memenuhi kualifikasi untuk digunakan dalam setiap tahapan dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4. 1. Kebutuhan Alat pada Proses Konstruksi

Tahapan	Alat	Konsumsi Solar (Ltr/hari)	Jumlah
Striping (Pengupasan lapisan atas)	Bulldozer Kelas D31-D35)	145	2
Cut and Fill	Bulldozer Kelas D31-D35)	145	2
Grading and Spreading (leveling badan jalan)	Motor grader kelas GD31RC-GD605A	43	3
	Dump Truck HD 1600 M	80	8
Compacting	Compactor BW 90S - BW 212	153	2
Pavement	Tandem Rollers BW 16R dan BW 20R	153	5

Sumber : PT. United Tractors Tbk, 2018.

4.3. Kondisi Eksisting Udara Ambien

Pengukuran kondisi eksisting udara ambien dilakukan di 2 lokasi berbeda, yaitu di Kawasan Agrotechnopark Universitas Brawijaya dan Kawasan Objek Wisata Alam dan Bumi Perkemahan Celaket, Pacet. Pengukuran kualitas udara ambien dilakukan di 2 lokasi berbeda yang termasuk dalam kawasan pemukiman dengan jarak terdekat dari lokasi rencana pembangunan *wellpad*.

4.3.1. Kawasan Agrotechnopark Universitas Brawijaya

Agrotechnopark Universitas Brawijaya berada di kawasan pemukiman dengan jarak terdekat dari lokasi rencana pembangunan *wellpad* 3. Pengukuran dilakukan pada titik koordinat 07°44'24.3"S, 112°32'07.2"E yang terletak di sebelah barat titik *wellpad*. Pengukuran dilakukan selama 1 jam untuk parameter CO₂, SO₂, NO_x, H₂S dan HC menggunakan *impinger* sedangkan pengukuran TSP dilakukan selama 24 jam menggunakan HVAS (*High Volume Air Sampler*). Pelaksanaan pengukuran dilakukan pada tanggal 31 Juni - 1 Juli 2021. Hasil dari pengukuran kualitas udara ambien kemudian dibandingkan dengan baku mutu sesuai PP No.22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan menunjukkan hasil uji masih berada jauh di bawah baku mutu kualitas udara ambien.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 4.2** dan hasil pengukuran kondisi stabilitas atmosfer dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4. 2. Hasil Uji Pengukuran Kualitas Udara Agrotechnopark

Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu	Metode
Sulfur Dioxide (SO ₂)	µg/Nm ³	< 16,7	75	SNI 7119.7-2017
Nitrogen Oxide (NO _x)	µg/Nm ³	< 7,9	65	SNI 7119.2-2017
Total Particulate (TSP)	µg/Nm ³	11,2	230	SNI 7119.3-2017
Carbon Dioxide (CO ₂)	ppm	540,0	-	PO/ENV-ABN/09
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	µg/Nm ³	< 4,60	42	PO/ENV-ABN/10
Hydrocarbon (HC)	µg/Nm ³	< 13,6	160	SNI 19-7119.13-2009

Sumber : Hasil Pengukuran, 2021

Tabel 4. 3. Hasil Pengukuran Stabilitas Atmosfer Kawasan Agrotechnopark

Parameter	Satuan	Hasil
Temperatur	°C	24,0
Kelembapan	%	85,4
Tekanan Udara	mmHg	760,6
Arah Angin	-	SE - NW
Kecepatan Angin	m/s	0,68 – 1,69

Sumber : Hasil Pengukuran, 2021

4.3.2. Kawasan Obyek Wisata Alam dan Bumi Perkemahan (OWA BUPER)

Celaket, Kecamatan Pacet.

OWA BUPER berada di dalam kawasan objek wisata mata air panas Padusan yang terletak di dalam wilayah administratif Kabupaten Mojokerto. Pengukuran dilakukan pada titik koordinat 07°41'18"S, 112°33'34.1"E yang terletak di sebelah utara dari titik *wellpad* 1. Pengukuran parameter CO₂, SO₂, NO_x, H₂S dan HC dilakukan selama 1 jam menggunakan *impinger* adapun pengukuran untuk parameter TSP menggunakan alat ukur HVAS (*High Volume Air Sampler*) yang dioperasikan selama 24 jam. Kegiatan pengukuran dilakukan pada tanggal 1 - 2 Juli 2021. Hasil pengukuran kualitas udara ambien yang telah dilakukan selanjutnya dibandingkan dengan baku

mutu yang telah ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hasil uji menunjukkan kualitas udara yang diukur masih berada jauh di bawah baku mutu. Rincian data hasil pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 4.4** dan hasil pengukuran kondisi stabilitas atmosfer dapat dilihat pada **Tabel 4.5** berikut.

Tabel 4. 4. Hasil Pengukuran Kualitas Udara OWA BUPER

Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu	Metode
Sulfur Dioxide (SO ₂)	µg/Nm ³	< 16,7	75	SNI 7119.7-2017
Nitrogen Oxide (NO _x)	µg/Nm ³	< 7,9	65	SNI 7119.2-2017
Total Particulate (TSP)	µg/Nm ³	24,0	230	SNI 7119.3-2017
Carbon Dioxide (CO ₂)	ppm	467,0	-	PO/ENV-ABN/09
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	µg/Nm ³	< 4,60	42	PO/ENV-ABN/10
Hidrocarbon (HC)	µg/Nm ³	< 13,6	160	SNI 19-7119.13-2009

Sumber : Hasil Pengukuran, 2021

Tabel 4. 5. Hasil Pengukuran Stabilitas Atmosfer Kawasan OWA BUPER

Parameter	Satuan	Hasil
Temperatur	°C	24,9
Kelembapan	%	77,7
Tekanan Udara	mmHg	759,4
Arah Angin	-	NE - SW
Kecepatan Angin	m/s	1,13 – 2,06

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021

4.4. Prediksi Konsentrasi Emisi yang Dihasilkan dari Tahap Konstruksi

Tahapan konstruksi pada rangkaian kegiatan eksplorasi diantaranya meliputi pembukaan lahan, pembangunan jalan, penggunaan sumber air untuk pengeboran dan mobilisasi kendaraan termasuk alat berat. Kegiatan tersebut diketahui menghasilkan emisi dalam pelaksanaannya. Perhitungan emisi yang dihasilkan dari mobilisasi alat berat dapat dihitung dengan langkah sebagai berikut :

4.4.1. Perhitungan Faktor Emisi Spesifik

Perhitungan dilakukan dengan asumsi pembangunan dilakukan secara bergantian untuk setiap *wellpad*. Pengestimasi tapak karbon dari alat berat yang

digunakan pada tahap pra konstruksi dihitung dengan terlebih dahulu mencari nilai tapak karbon menggunakan IPCC *guidelines tier 1* dan berikutnya besar tapak karbon yang ditemukan dibagi dengan jumlah data kendaraan sehingga nilai Faktor Emisi Spesifik (FES) dapat diketahui. FES yang telah dihitung dapat digunakan sebagai acuan estimasi tapak karbon untuk sektor transportasi pada wilayah lain yang tipikal.

1. Mencari nilai tapak karbon

Perhitungan nilai tapak karbon memerlukan data dari beberapa komponen meliputi konsumsi BBM dan nilai kalor bahan bakar sehingga dapat ditemukan besar konsumsi energi untuk mencari nilai emisi CO₂. Berdasarkan perhitungan menggunakan **Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2** diketahui hasil perhitungan pada **Tabel 4.6** dengan rincian perhitungan dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Tapak Karbon

Alat	Konsumsi Solar (Ltr/hari)	Jumlah	Emisi CO ₂ (Ton CO ₂ /thn)
Bulldozer Kelas D31-D35)	145	12	1.694,19276
Motor grader kelas GD31RC-GD605A	43	9	376,811838
Dump Truck HD 1600 M	80	24	1.869,45408
Compactor BW 90S - BW 212	153	6	893,832732
Tandem Rollers BW 16R dan BW 20R	153	15	2.234,58183
Total	574	66	7.068,87324

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021

2. Konversi jenis kendaraan ke satuan mobil penumpang

Perhitungan beban emisi dengan menggunakan faktor emisi spesifik memerlukan konversi satuan dari jenis kendaraan ke dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP). Konversi satuan kendaraan pada penelitian ini berdasarkan pada ketentuan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga (1997) yang dapat dilihat pada **Tabel 4.7** Berikut.

Tabel 4. 7. Konversi Jenis Kendaraan dalam Satuan Mobil Penumpang

No	Jenis Kendaraan	Definisi	Jenis-Jenis Kendaraan	SMP
1	Kendaraan Ringan	Kendaraan bermotor dua as beroda 4 dengan jarak as 2-3 m	Mobil pribadi, oplet, mikrobis, <i>pick up</i> , truk kecil	1
2	Kendaraan Berat	Kendaraan bermotor dengan lebih dari 4 roda	Bus, truck as 2, truck as 3 dan truck kombinasi sesuai kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga	1,2
3	Sepeda Motor	Kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda	Sepeda motor dan kendaraan beroda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga	0,25
4	Kendaraan Tak Bermotor	Kendaraan beroda yang menggunakan tenaga manusia atau hewan	Sepeda, besak, kereta kuda, kereta dorong	0,8

Sumber : Dikertorat Jendral Bina Marga, 1997

Perhitungan Satuan Mobil Penumpang (SMP) mengikuti ketentuan pada tabel di atas. Perhitungan dilakukan dengan asumsi kondisi tidak ada kendaraan lain selain kendaraan alat berat yang digunakan selama proses pra konstruksi maupun konstruksi kegiatan eksplorasi panas bumi dilakukan, sehingga dapat dicari nilai SMP sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{SMP Alat Berat} &= 1,2 \times \text{jumlah kendaraan} \\
 &= 1,2 \times 66 \\
 &= \mathbf{79,2 \text{ SMP}}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung faktor emisi spesifik

Nilai Satuan Mobil Penumpang (SMP) yang sudah diketahui kemudian digunakan untuk mencari Faktor Emisi Spesifik (FES) untuk kondisi pembukaan lahan di Tahura Raden Soerjo. Perhitungan nilai FES dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{FES} &= \frac{\text{Emisi CO}_2 \text{ total}}{\text{SMP}} \\
 &= \mathbf{89,25 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}}
 \end{aligned}$$

4.4.2. Menghitung Beban Emisi tiap wellpad

Perhitungan beban emisi yang dihasilkan di setiap wellpad dapat diketahui setelah nilai FES ditemukan. Pekerjaan pra konstruksi hingga konstruksi akan dilakukan secara bergantian dari ketiga *wellpad* yang telah ditentukan. Persamaan yang digunakan untuk mencari beban emisi dari tiap *wellpad* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E &= FES \times \text{Total SMP} \\ &= 89,25 \frac{\text{ton CO}_2/\text{SMP}}{\text{tahun}} \times 22 \\ &= 1.963,5759 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Beban emisi yang dari kegiatan pembukaan lahan dan pembuatan jalan di dalam kawasan Tahura adalah sebesar 89,25 ton CO₂ per tahun. Tingginya nilai FES di Kawasan Tahura disebabkan oleh jumlah kendaraan yang sedikit sehingga pembagian per SMP kendaraan kecil yang menyebabkan nilai FES menjadi besar.

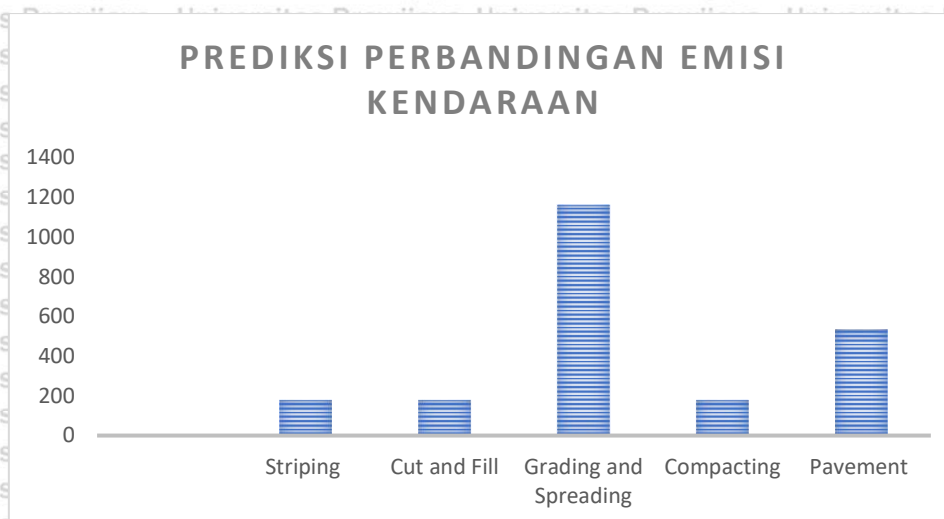
Nilai emisi CO₂/tahun dari tiap tahapan pra konstruksi dapat dilihat pada **Tabel 4.8** berikut.

Tabel 4. 8. Beban Emisi CO₂ pada Tahapan Pra Konstruksi

No.	Tahapan	Total (SMP) [A]	FES (Ton ₂ /SMP) [B]	Emisi (Ton CO ₂) [C]=[A]*[B]
1	Striping (Pengupasan lapisan atas)	2	89,25	178,5
2	Cut and Fill	2	89,25	178,5
3	Grading and Spreading (leveling badan jalan)	13	89,25	1.160,25
4	Compacting	2	89,25	178,5
5	Pavement	6	89,25	535,5

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui apabila produksi CO₂ terbesar dihasilkan dari tahapan *grading and spreading (levelling badan jalan)*. Emisi CO₂ yang tinggi dipengaruhi karena kebutuhan alat berat yang lebih tinggi pada tahapan *grading and spreading* dibandingkan dengan tahapan lain. Perbedaan emisi kendaraan yang dihasilkan dari setiap tahapan apabila disajikan dalam bentuk diagram dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut.



Gambar 4. 2. Prediksi Emisi Kendaraan pada Tahap Pra Konstruksi

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021

Hasil perhitungan tapak karbon diketahui dengan menggunakan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) *guidelines* Tier 1 yang merupakan estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC. Adapun setelah nilai tapak karbon tier 1 diketahui, dilanjutkan dengan mengkonversi Satuan Mobil Penumpang untuk menemukan nilai Faktor Emisi Spesifik (FES) sehingga dapat diketahui untuk nilai ketelitian Tier 2 yang merupakan hasil estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi default IPCC. Oleh karena hal tersebut, maka hasil perhitungan emisi pada FES dapat dikatakan lebih akurat apabila dibandingkan dengan perhitungan tapak karbon. Hasil perhitungan FES yang telah ditemukan dapat dijadikan acuan dalam estimasi tapak karbon untuk aktivitas transportasi pada wilayah lain dengan fungsi pengembangan wilayah serupa yang tidak memiliki data valid dan lengkap.

4.4.3. Daya Serap Vegetasi Lingkup Tapak Proyek Terhadap CO₂ Aktivitas Transportasi

Hasil perhitungan menunjukkan perkiraan total beban emisi yang dihasilkan dari penggunaan alat berat pada proses konstruksi mencapai 1.963,5759 ton CO₂/tahun. Pengurangan emisi CO₂ dibantu dengan penyerapan CO₂ oleh vegetasi yang berada dalam lingkup tapak proyek. Besar daya serap vegetasi dapat ditemukan dari hasil perkalian antara daya serap vegetasi dengan luasan vegetasi yang dapat dilihat pada **Tabel 4.9** berikut.

Tabel 4. 9. Daya Serap Emisi CO₂ Oleh Vegetasi di Kawasan Tapak Proyek Eksplorasi Panas Bumi

No.	Vegetasi	Total Luas (Ha)	Daya Serap gas CO ₂ (Ton/Ha/Tahun)	Daya Serap Vegetasi (Ton/Tahun)
1	Pohon	4.308,078	569,07	2.451.598
2	Semak	3.144,06	55	172.923,3
		Total		2.624.521

Sumber : Kajian Survey UGM (telah diolah kembali) 2021

Daya serap vegetasi telah diketahui sebesar 2.624.521 Ton/Tahun dan besar beban emisi yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi adalah sebesar 1.963,5759 Ton/Tahun. Kemampuan tutupan vegetasi dalam menyerap emisi dapat diketahui dari hasil berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kemampuan tutupan vegetasi} &= \text{Daya Serap} - \text{Beban Emisi CO}_2 \\
 &= 2.624.521 - 1.963,5759 \\
 &= 2.622.557,424 \text{ Ton/Tahun}
 \end{aligned}$$

Nilai tersebut menunjukkan apabila tutupan vegetasi yang ada dapat menyerap emisi CO₂ hasil produksi alat berat yang digunakan pada tahap konstruksi. Emisi CO₂ yang dihasilkan pada tahap konstruksi tidak hanya bersumber pada penggunaan alat berat, tetapi juga dapat dihasilkan dari penggunaan peralatan penunjang seperti genset dan sebagainya. Emisi yang dihasilkan akan menurunkan kemampuan tutupan vegetasi dalam menyerap emisi CO₂.

4.5. Prediksi Konsentrasi Emisi yang Dihasilkan dari Tahap Eksplorasi

Pengeboran sumur untuk kegiatan eksplorasi panas bumi akan mengeluarkan emisi gas buang sehingga menurunkan kualitas udara di dalam area tapak kegiatan dan sekitarnya. Meningkatnya polutan udara dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia dan satwa liar di sekitar tapak proyek, misalnya: iritasi mata, kulit, gangguan saluran pernafasan seperti ISPA, rhinitis (alergi hidung) maupun bronkitis/ asma bronkiale (Soemirat, 2004) dan gangguan saraf.

Wilayah studi termasuk dalam klasifikasi stabilitas atmosfer **kelas D** dengan tingkat radiasi menengah pada malam hari dan cenderung berawan pada malam hari dengan kecepatan angin rata-rata pada kisaran 4-6 m/s. Proses difusi polutan meliputi proses difusi dari tiga dimensi karena molekul-molekul polutan berdifusi pada sumbu-x, sumbu-y dan sumbu-z. Selain proses difusi, pada sumbu-x juga terjadi proses adveksi atau transportasi polutan yang diakibatkan oleh angin. Adapun dalam menghitung dispersi *Gaussian* tersebut

menggunakan kelas kestabilan udara sehingga didapat konstanta pembentuk koefisien dispersi *Gaussian* seperti pada **Tabel 4.9** berikut.

Tabel 4. 10. Konstanta Pembentuk Koefisien Dispersi *Gaussian*

Stabilitas (Kelas)	X < 1 km				X > 1 km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,72	459,7	2,094	-9,6
B	156	10,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2
C	104	61	0,991	0	61	0,911	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34
F	34	14,4	0,740	-0,36	62,6	0,180	-48,6

Catatan :
 harga b = 0.894 untuk semua kelas
 $\sigma_y = aX^b$ dan
 $\sigma_z = cX^d + f$
 X = jarak konsentrasi sebaran (km)

Sumber : Rahmadhani, 2017

Usulan sumur pengeboran terdiri atas *wellpad 1*, *wellpad 2*, *wellpad 3*, *wellpad 4* dan *wellpad 5*. Hasil kajian 3G (Geologi, Geokimia, Geofisika), kajian teknik sipil dan juga penataan blok menjadi dasar pemilihan titik pengeboran untuk dilakukan di *wellpad 1*, *wellpad 3* dan *wellpad 4*. Proses eksplorasi geothermal nantinya akan menghasilkan polutan dominan berupa H₂S dan juga CO₂ yang konsentrasinya dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan *gaussian* dengan besar konsentrasi polutan mengacu kepada literatur dengan kondisi serupa dimana polutan yang dikeluarkan oleh cerobong setinggi 5 meter mencapai 7,161 gr/s (PT. Supreme Energi Rantau Dedap, 2016) dan konsentrasi CO₂ mencapai 4.092,93 gr/s.

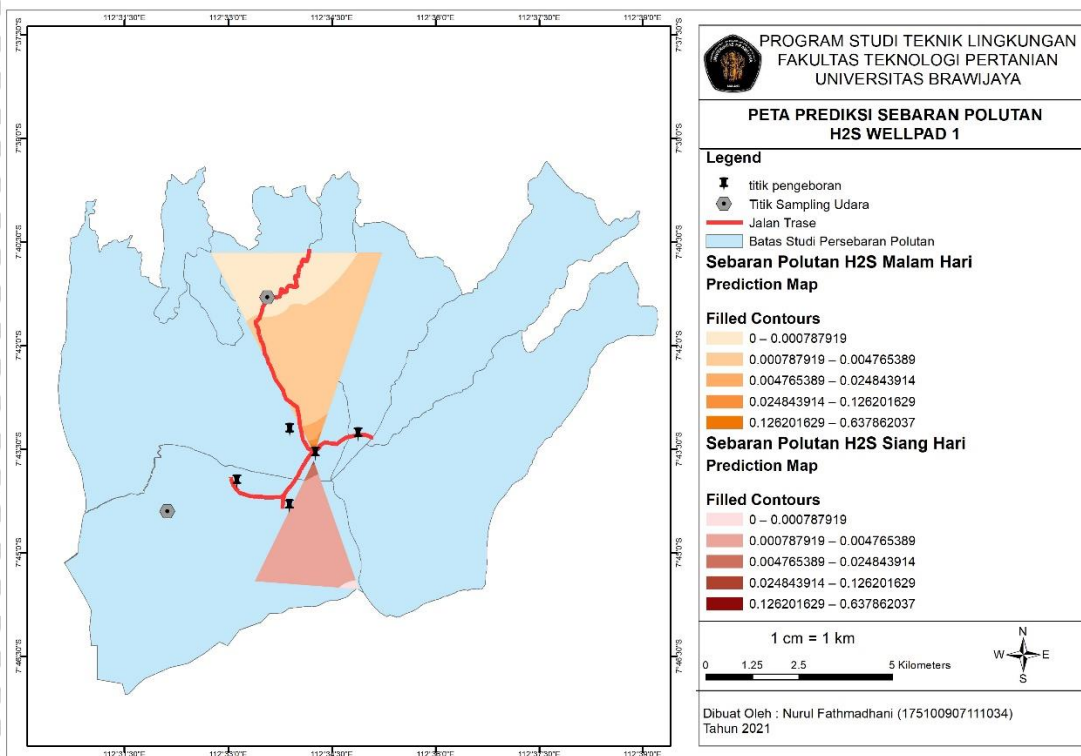
4.5.1. Prediksi Persebaran Polutan

Konsentrasi prediksi H₂S dan CO₂ dicari menggunakan persamaan *gaussian* dengan *Microsoft excel*. Besar Kondisi stabilitas atmosfer yang digunakan dalam analisis bersumber dari data satelit (NOAA NCDC, 2021), pengukuran langsung dan juga data BMKG online. Tapak proyek pada kegiatan eksplorasi panas bumi berada di WKP arjuno Welirang. Karakteristik topografi kawasan pegunungan menyebabkan terbentuknya angin gunung dan angin lembah. Data stabilitas atmosfer arah angin dominan pada siang hari mengarah pada barat-selatan dengan rerata kecepatan

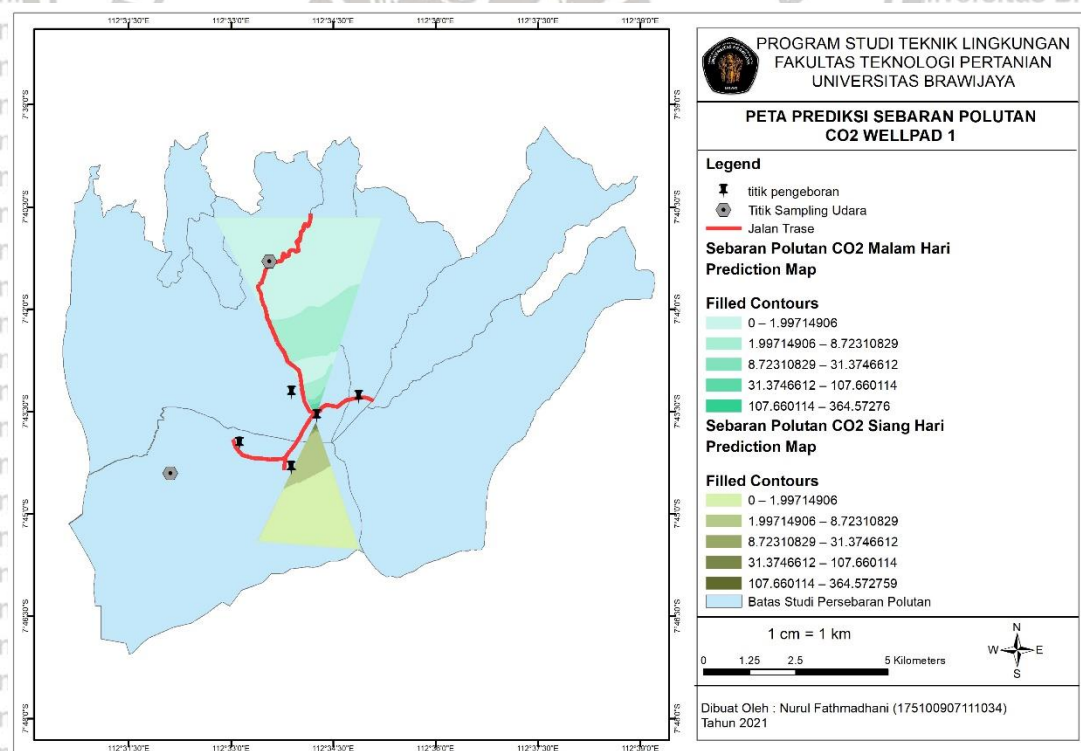
angin pada kisaran 4 – 6 m/s sehingga pada malam hari kecenderungan arah angin pada arah sebaliknya menuju mata angin timur-utara. Adapun pemetaan dari prediksi persebaran polutan dibuat dalam bentuk segitiga dengan sudut terbuka mengarah mengikuti arah angin dominan pada kawasan tersebut.

4.5.1.1. *Wellpad 1*

Lokasi *Wellpad 1* pada Wilayah Kerja Panas Bumi berada pada titik koordinat $7^{\circ}43'27.85''$ S dan $112^{\circ}34'19.61''$ E dengan ketinggian 2620,48 mdpl. Hasil perhitungan *gaussian* yang telah dilakukan menunjukkan kadar polutan H_2S tertinggi ada pada kisaran $0,6 - 0,1 \mu g/Nm^3$ yang dapat ditemukan pada radius < 100 meter dari sumber pencemar adapun untuk parameter CO_2 konsentrasi polutan tertinggi yang dihasilkan ada pada kisaran $100 - 300 \mu g/Nm^3$ pada radius 50 meter dari cerobong. Kadar polutan yang diperkirakan masih berada di bawah baku mutu H_2S sebesar $42 \mu g/Nm^3$ yang ditetapkan oleh pemerintah dalam PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggara Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan baku mutu CO_2 sebesar 5000 ppm yang tertuang dalam PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja. Berdasarkan arah angin dominan, hasil polutan H_2S dan CO_2 pada siang hari akan mengarah pada lingkup Kawasan Taman Hutan Raya yang terletak di bagian barat daya titik eksplorasi *wellpad 1* dan pada malam hari akan mengarah pada kawasan wisata Padusan. Hasil prediksi persebaran polutan H_2S dapat dilihat pada **Gambar 4.3** dan prediksi persebaran CO_2 dapat dilihat pada **Gambar 4.4**. Pemetaan sebaran polutan yang digambarkan tidak dipetakan dalam lingkup 360° namun hanya berfokus pada arah angin dominan, dikarenakan keterbatasan data arah dan kecepatan angin yang berhasil diperoleh.



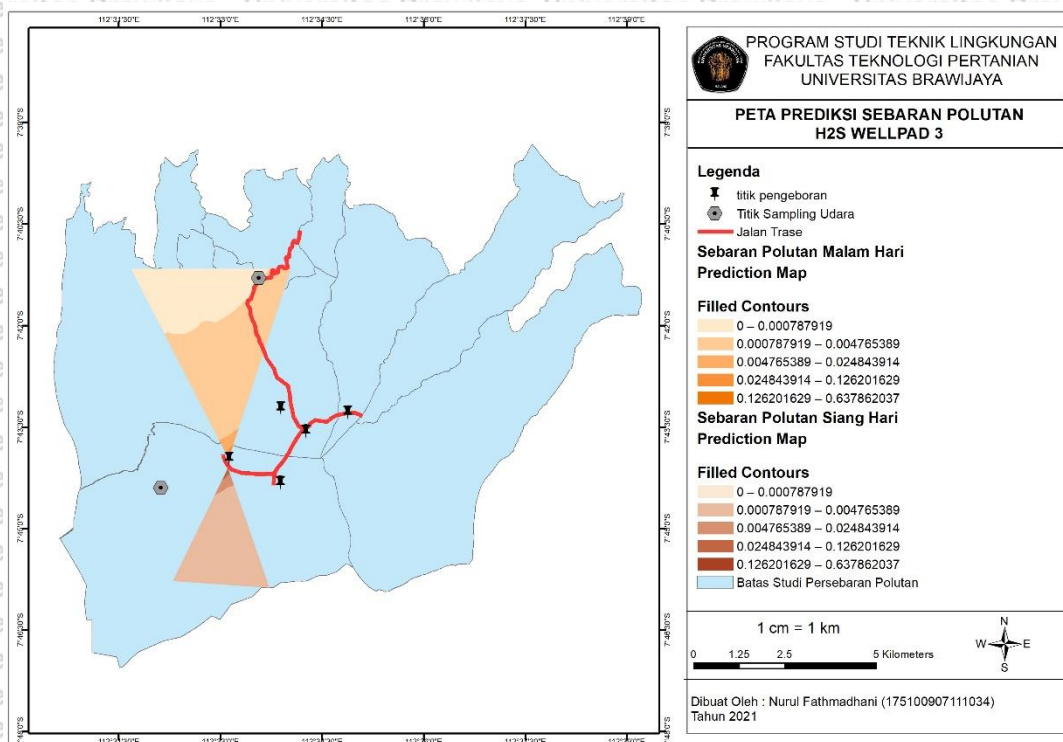
Gambar 4. 3. Peta Prediksi Sebaran Polutan H₂S di Wellpad 1
Sumber: Hasil Analisa, 2021



Gambar 4. 4. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO₂ di Wellpad 1
Sumber: Hasil Analisa, 2021

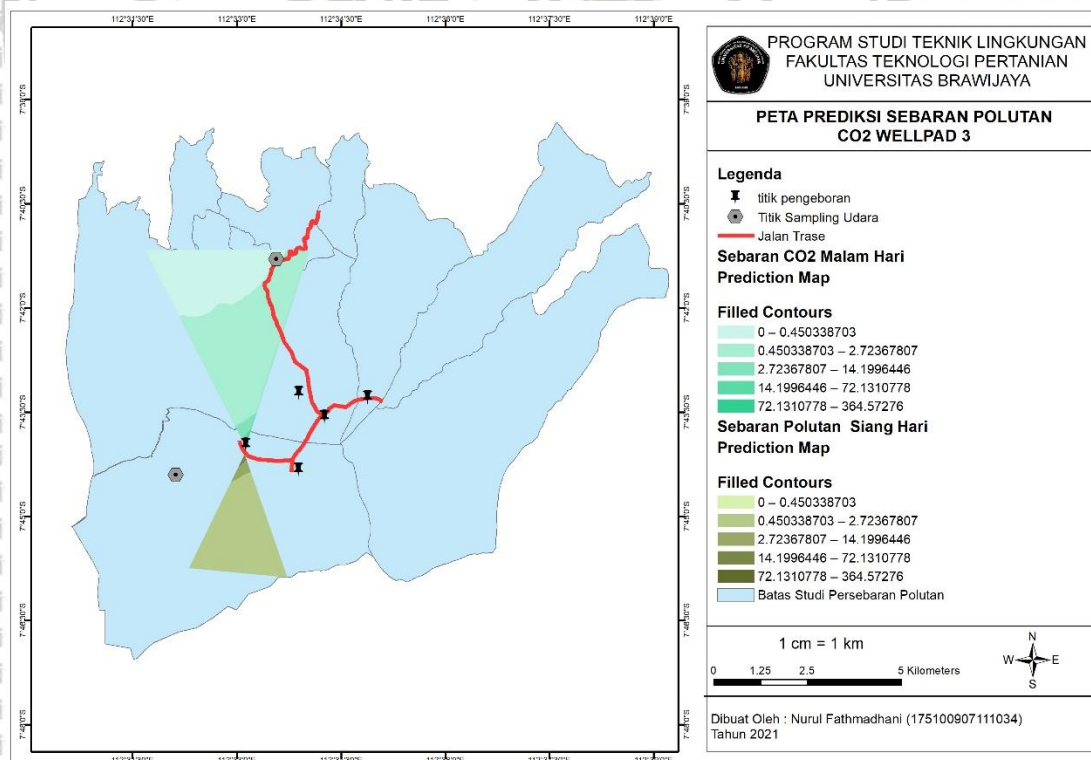
4.5.1.2. Wellpad 3

Lokasi *Wellpad* 3 berada dalam Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno Welirang tepatnya pada titik koordinat $7^{\circ}43'44.43''$ S dan $112^{\circ}33'05.29''$ E dengan ketinggian 1943,52 mdpl. Perhitungan *gaussian* yang telah dilakukan menunjukkan konsentrasi parameter CO_2 tertinggi berada pada kisaran $100 - 300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada radius 50 meter dari sumber polutan. Konsentrasi CO_2 masih berada jauh di bawah baku mutu CO_2 sebesar $5000 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ mengacu pada PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja. Hasil perhitungan *gaussian* menunjukkan kadar H_2S tertinggi yang dihasilkan dari cerobong setinggi 5 meter ada pada kisaran $0,6 - 0,1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada radius < 100 meter dari sumber pencema. Nilai konsentrasi tersebut masih berada di bawah baku mutu H_2S sebesar $42 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ yang ditetapkan oleh pemerintah dalam PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggara Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Hasil perhitungan kemudian diinterpretasikan dalam bentuk visual berupa peta prediksi persebaran polutan *wellpad* 3 dan dapat diketahui berdasarkan arah angin dominan, hasil polutan H_2S dan CO_2 pada siang hari akan mengarah pada lingkup Kawasan pertanian di Kecamatan Bumiaji dengan jarak 3 km. Kadar prediksi polutan yang akan diterima pada jarak 3 km ada pada kisaran $0,0011 - 0,0019 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk H_2S dan kisaran $0,64 - 1,09 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ untuk parameter CO_2 . Data angin yang berhasil diperoleh berupa data arah dan kecepatan angin dominan, sehingga pemetaan dari prediksi sebaran polutan hanya berfokus pada arah angin dominan berdasarkan kondisi eksisting yang ada di lapangan. Hasil prediksi persebaran polutan H_2S dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan prediksi persebaran CO_2 dapat dilihat pada **Gambar 4.6** berikut.



Gambar 4. 5. Peta Prediksi Sebaran Polutan H₂S di Wellpad 3

Sumber: Hasil Analisa, 2021



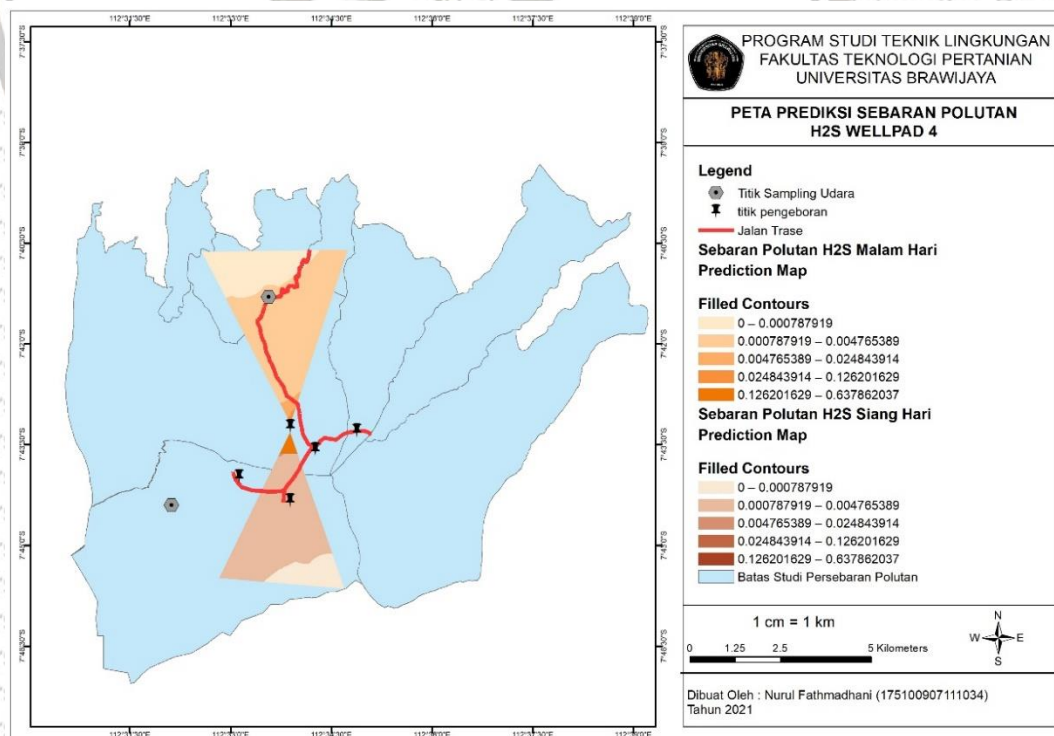
Gambar 4. 6. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO₂ di Wellpad 1

Sumber: Hasil Analisa, 2021

4.5.1.3. Wellpad 4

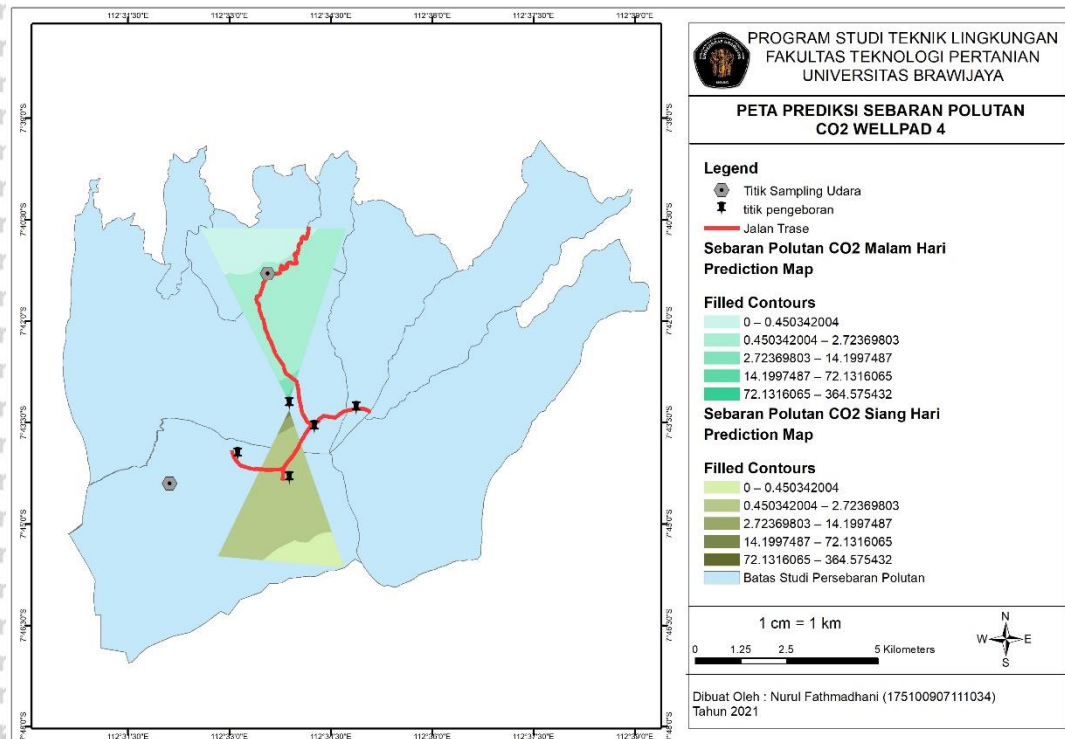
Lokasi *Wellpad* 4 termasuk di dalam Kawasan Wilayah Kerja Panas Bumi Arjuno dengan titik koordinat $7^{\circ}42'52.57''$ S dan $112^{\circ}33'48.96''$ E pada ketinggian 1896,57 mdpl. Hasil perhitungan *gaussian* menunjukkan kadar polutan H_2S tertinggi pada kisaran $0,6 - 0,1 \mu g/Nm^3$ yang dapat ditemukan pada radius < 100 meter dari sumber pencemar adapun untuk parameter CO_2 konsentrasi polutan tertinggi yang dihasilkan ada pada kisaran $100 - 300 \mu g/Nm^3$ pada radius 50 meter dari cerobong.

Kadar polutan yang diperkirakan masih berada di bawah baku mutu H_2S sebesar $42 \mu g/Nm^3$ berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggara Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan baku mutu CO_2 sebesar 5000 ppm sesuai PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja. Berdasarkan arah angin dominan, hasil polutan H_2S dan CO_2 siang hari akan mengarah pada lingkup Kawasan Taman Hutan Raya yang terletak di bagian barat daya titik eksplorasi *wellpad* 1 dan pada malam hari akan mengarah pada kawasan wisata Padusan. Pembuatan peta prediksi sebaran polutan didasarkan pada arah angin dominan dan konsentrasi polutan yang dihasilkan, sehingga pembuatan visual sebaran hanya dilakukan mengarah pada arah angin dominan tidak dipetakan dalam lingkup 360° , dikarenakan keterbatasan data arah dan kecepatan angin yang berhasil diperoleh. Hasil prediksi persebaran polutan H_2S dapat dilihat pada **Gambar 4.7** dan prediksi persebaran CO_2 dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut.



Gambar 4. 7. Peta Prediksi Sebaran Polutan H_2S di Wellpad 4

Sumber: Hasil Analisa, 2021



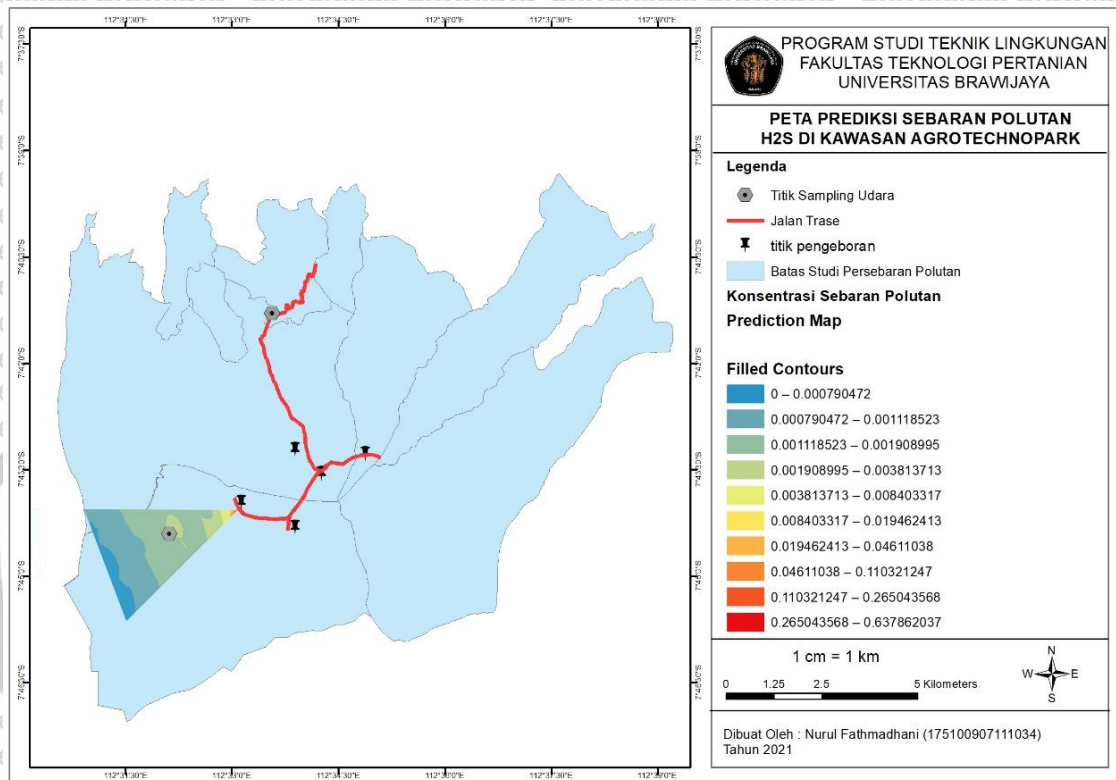
Gambar 4. 8. Peta Prediksi Sebaran Polutan H_2S di Wellpad 3

Sumber: Hasil Analisa, 2021

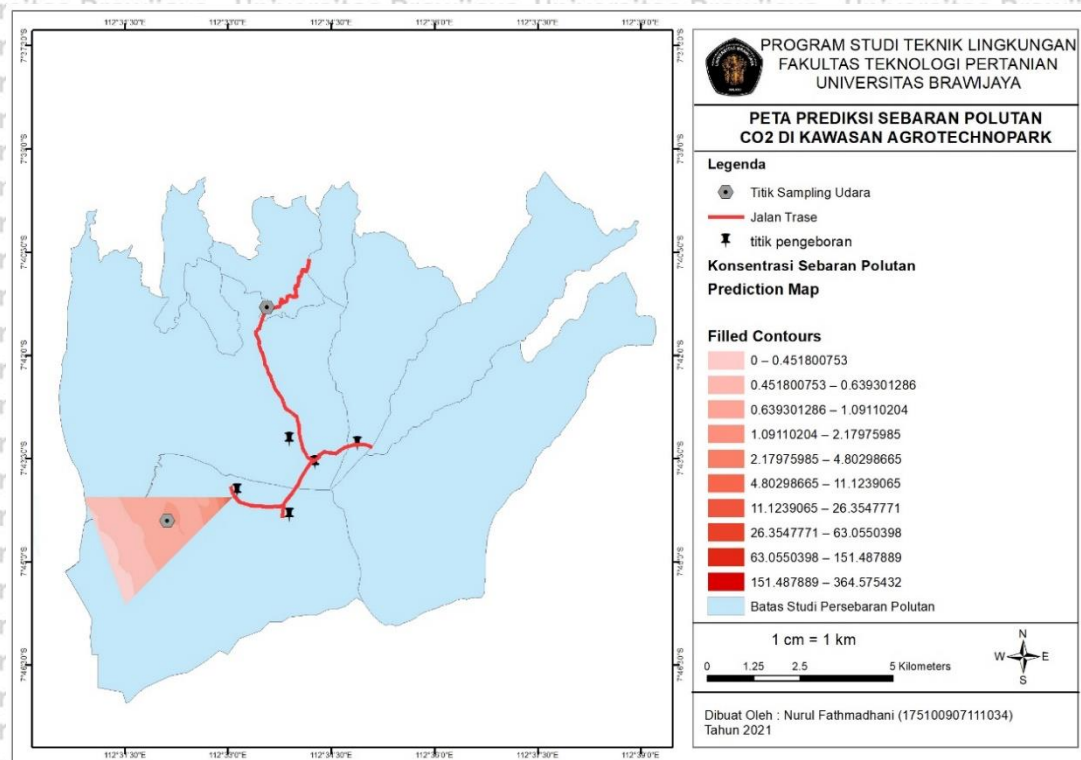
4.5.2. Skenario Perubahan Arah Angin Menuju Pemukiman Terdekat

Berdasarkan hasil analisa menggunakan data arah dan kecepatan angin eksisting, dapat diketahui apabila emisi gas buang dari cerobong pada tahap eksplorasi memberikan dampak yang kecil untuk perubahan kondisi kualitas udara di wilayah pemukiman. Skenario ini dibuat untuk mengetahui konsentrasi polutan yang sampai di pemukiman dengan dugaan arah angin mengarah pada wilayah pemukiman sehingga nantinya dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam menentukan upaya mitigasi yang akan dilaksanakan. Kawasan Agrotechnopark UB merupakan salah satu kawasan pemukiman dengan jarak terdekat dari rencana sumur pengeboran *wellpad 3* tepatnya berjarak 3 km dari sumur bor. Letak pemukiman yang cenderung dekat menimbulkan kekhawatiran akan terkena dampak polutan yang dihasilkan apabila arah angin yang bertiup akan menuju daerah pemukiman. Analisa perhitungan dilakukan dengan perhitungan *gaussian* menggunakan data stabilitas atmosfer eksisting namun dengan perubahan arah angin diskenariokan menuju kawasan Agrotechnopark (265° arah barat). Hasil perhitungan menunjukkan dengan jarak 3 km dari titik sumber pencemar, prediksi kadar polutan tertinggi yang diterima sebesar $>4 \mu g/Nm^3$ untuk CO_2 dan $<0,003 \mu g/Nm^3$ untuk parameter H_2S kadar tersebut masih berada jauh di bawah baku mutu yaitu H_2S sebesar $42 \mu g/Nm^3$ dan CO_2 sebesar 5000 ppm sesuai dengan ketentuan dalam PER.13/MEN/X/2011

sehingga dapat dikatakan kawasan pemukiman masih berada dalam kondisi aman meskipun akan terjadi perubahan arah mata angin menuju pemukiman. Interpretasi sebaran polutan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**. Adapun penggambaran sebaran polutan dilakukan hanya mengarah pada arah angin dominan dikarenakan keterbatasan data yang diperoleh dan kondisi yang kurang memungkinkan untuk melakukan pengambilan data langsung di lapangan.



Gambar 4. 9. Peta Prediksi Sebaran Polutan H₂S di Kawasan Agrotechnopark
Sumber: Hasil Analisa, 2021



Gambar 4. 10. Peta Prediksi Sebaran Polutan CO₂ di Kawasan Agrotechnopark
Sumber: Hasil Analisa, 2021

4.5.3. Konsentrasi Emisi Buang H₂S Melampaui Nilai Ambang Batas dari Sumber Pencemar

Bulan Januari 2021 telah terjadi kasus keracunan gas H₂S ketika berlangsung kegiatan buka sumur di Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Insiden ini menewaskan 5 orang masyarakat setempat yang pada saat insiden terjadi sedang berada pada jarak 300 – 500 meter dari sumber pencemar. Menurut Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM (2021), emisi gas buang H₂S dapat meracuni warga setempat disebabkan karena mal operasional yang dilakukan pemrakarsa dalam tahap buka sumur. Konsentrasi gas buang dari sumber pencemar pada saat insiden terjadi mencapai 1635 ppm. Skenario dilakukan dengan perhitungan prediksi sebaran menggunakan konsentrasi tersebut pada kondisi atmosfer WKP Arjuno Welirang sehingga diperoleh data pada **Tabel 4.11** berikut :

Tabel 4. 11. Prediksi Konsentrasi H₂S pada Konsentrasi Tinggi dari Sumber Pencemar

Radius (meter)	Konsentrasi H ₂ S (ppm)
25	358,609624613105
50	116,527697744941
75	60,396526602067
100	37,892740667885
250	8,588399129433

Radius (meter)	Konsentrasi H ₂ S (ppm)
500	2,795021706111
1000	0,909747605981
2000	1,087969124569
3000	0,613552217184
4000	0,408701033927

Sumber : Hasil Perhitungan, 2021

Kadar H₂S dalam jumlah tinggi dapat menyebabkan berbagai gangguan kesehatan bahkan kematian. Menurut Government of Alberta (2010), pekerja paling sering terpapar hidrogen sulfida (H₂S) selama pengeboran dan produksi gas alam, minyak mentah, dan produk minyak bumi. Paparan hidrogen sulfida jangka pendek (akut) dapat menyebabkan iritasi pada hidung, tenggorokan, mata, dan paru-paru. Paparan konsentrasi yang lebih tinggi dapat menyebabkan efek kesehatan yang sangat serius, dan bahkan kematian. Hidrogen sulfida belum diklasifikasikan sebagai karsinogen oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC). Dampak terpapar H₂S dalam jangka pendek dapat dilihat pada **Tabel 4.12** berikut.

Tabel 4. 12. Dampak H₂S Dalam Jangka Pendek

Konsentrasi (ppm)	Efek yang Ditimbulkan
0.01 - 0.3	Bau ringan
1 - 20	Bau menyengat, dapat memicu mual, mata berair atau sakit kepala dengan intensitas yang lama
20 - 50	Iritasi hidung, tenggorokan dan paru-paru; gangguan pencernaan dan kehilangan nafsu makan, penurunan fungsi penciuman, konjungtivitis akut dapat terjadi (nyeri dan peningkatan sensitivitas cahaya).
100 – 200	Iritasi hidung, tenggorokan dan paru-paru yang parah; kemampuan untuk mencium bau benar-benar hilang.
250 – 500	Iritasi paru-paru yang parah, sakit kepala, pusing, kolaps tiba-tiba (knockdown), tidak sadarkan diri dan kematian dalam beberapa jam, kehilangan memori selama periode paparan
500 – 1000	Henti nafas, detak jantung tidak teratur, kolaps dan kematian tanpa pertolongan.
>1000	Kolaps dalam waktu singkat dan kematian

Sumber : Government Of Alberta

4.6. Upaya Mitigasi Tahap Eksplorasi Panas Bumi Terhadap Penurunan Kualitas

Udara

Kegiatan eksplorasi yang akan dilakukan telah diketahui memberikan dampak terhadap penurunan kualitas udara. Upaya mitigasi perlu dilakukan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan agar tidak merugikan lingkungan maupun makhluk hidup yang

berada di sekitarnya. Perumusan upaya mitigasi dilakukan sesuai dengan hierarki mitigasi sesuai dengan ESS – IFC yang meliputi *avoidance*, *minimize*, *restoration* dan *off set*.

Rumusan upaya mitigasi untuk tahap eksplorasi panas bumi terhadap penurunan kualitas udara dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.



Tabel 4. 13. Upaya Mitigasi Tahap Eksplorasi Panas Bumi Terhadap Penurunan Kualitas Udara

No.	Kegiatan	Sumber Dampak	Potensi Dampak	Hierarki Mitigasi	Upaya Mitigasi
1.	Tahap Konstruksi	Pembukaan Lahan	Penurunan daya serap vegetasi terhadap CO ₂ sebagai dampak dari pembukaan lahan	Avoidance	- Area pembukaan lahan mempertimbangkan jenis tutupan lahan, dapat dipilih jenis semak. - Pengukuran dampak debu dan penurunan kualitas udara yang dilakukan pada waktu pembukaan lahan.
				Minimize	- Penentuan lebar jalan se optimum mungkin pada tahap konstruksi dan operasi. Menghindari pembangunan akses jalan dengan ukuran yang terlalu lebar melebihi batas yang diperlukan - Melakukan penyiraman pada ruas jalan yang belum di aspal
		Mobilisasi peralatan dan material konstruksi	Menghasilkan emisi CO ₂ dari penggunaan alat berat	Avoidance	- Akses trase jalan yang akan dibuat harus berada pada jarak aman dari pemukiman. - Menghindari pelaksanaan pekerjaan di malam hari.
				Minimize	- Penggunaan alat berat dalam kondisi layak, tidak melebihi umur kendaraan untuk meminimalisir emisi gas buang yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi. - Melakukan penyiraman pada ruas jalan yang belum di aspal pada musim kemarau
2.	Tahap Operasi	Pengoperasian sumur eksplorasi	Terjadinya peningkatan angka Penyakit Akibat Kerja (PAK) Cemaran polutan H ₂ S dan CO ₂	Avoidance	Kegiatan tidak dilakukan pada musim kemarau panjang untuk mengurangi debu yang dihasilkan
				Minimize	- Penutupan mobil bak terbuka dengan terpal - Pembuatan SOP (Standard Operasional Prosedur) dan penyediaan APD untuk tenaga kerja.
				Restoration	- Pemasangan alat kendali pencemar udara (<i>Electrostatic Precipitator</i> (ESP) dan <i>Flue Gas Desulphurisation</i> (FGD)) - Mendirikan kilang Sulfur Recovery Unit (SRU) untuk mengelola gas H ₂ S menjadi sulfur cair maupun padat

No.	Kegiatan	Sumber Dampak	Potensi Dampak	Hierarki Mitigasi	Upaya Mitigasi
		Mobilisasi kendaraan angkutan pekerja	Pencemaran udara di daerah pemukiman	Restoration	Pemantauan dampak debu dan penurunan kualitas udara yang dilakukan secara rutin berkala.
			Terjadinya peningkatan angka Penyakit Akibat Kerja (PAK)	Avoidance	Pembuatan SOP (Standard Operasional Prosedur) dan penyediaan APD untuk tenaga kerja.
				Minimize	- Pembatasan akses jalan di kawasan PLTPB untuk umum

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan :

1. Kualitas udara eksisting di Lingkungan WKP Arjuno Welirang ada pada kondisi baik dengan nilai konsentrasi parameter CO_2 , TSP, H_2S dan HC di bawah baku mutu sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
2. Selisih daya serap vegetasi di Tahura terhadap CO_2 dari emisi alat berat pada tahap konstruksi sebesar 2.622.557,424 Ton/Tahun menunjukkan apabila tutupan vegetasi yang ada dapat menyerap emisi CO_2 yang dihasilkan.
3. Pola sebaran pencemaran untuk parameter H_2S dan CO_2 memiliki kecenderungan mengarah ke Barat – Selatan dimana pemukiman terdekat yang terletak di bagian Barat – Selatan rencana sumur pengeboran adalah Desa Sumberbrantas, Kecamatan Bumiaji, Kota Batu.
4. Konsentrasi H_2S tertinggi sebesar 0,6 ppm dan CO_2 sebesar 364,5 ppm dari sumber pencemar. Skenario dilakukan apabila terdapat kebocoran yang mungkin terjadi seperti di pengeboran tempat lain dengan konsentrasi sebesar 1635 ppm, pemukiman terdekat yang berjarak 3 km akan menerima konsentrasi sebesar 0,3 ppm dengan efek yang ditimbulkan berupa bau menyengat.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disarankan :

1. Perlu dilakukan pengukuran kualitas udara secara rutin bertahap untuk memastikan sebaran polutan yang dihasilkan dari tahap eksplorasi di pemukiman terdekat (Desa Padusan dan Sumberbrantas).
2. Perlu dipastikan alat berat yang digunakan ada pada kondisi baik dan tidak melebihi umur teknis untuk menghindari produksi emisi CO_2 yang berlebihan dari setiap unit alat berat yang digunakan.
3. Perlu diperhatikan penggunaan Alat Pelindung Diri bagi pekerja di area sumur pengeboran mengingat konsentrasi polutan yang dihasilkan di area pengeboran berpotensi mempengaruhi kondisi kesehatan apabila tidak dibatasi dengan penggunaan Alat Pelindung Diri.
4. Pelaksana teknis harus selalu mematuhi SOP pengeboran dan pengujian sumur untuk menghindari terjadinya kebocoran gas.

DAFTAR PUSTAKA


- Abidin, Jainal dan Hasibuan, Ferawati Artauli. 2019. Penyebaran Konsentrasi Polutan dengan Pemodelan Dispersi Gauss Menggunakan Matlab. Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi. Volume 5. No. 02
- Alfath, M.Hafizh. 2011. Pengadaan Listrik dari Panas Bumi. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Annugerah, Adytama *et al.* 2016. Sistem Informasi Geografis Berbasis Web Pemetaan Lokasi Toko Oleh-Oleh Khas Samarinda. Jurnal Informatika Mulawarman Vol.11 No.2
- Arya, S.P. 1999. *Air Pollution Meteorology and Dispersion*. New York: Oxford University Press
- Asmara, Indria Tidar. 2015. Kajian Pencemaran Udara CO₂ di Kota Surakarta (Studi Kasus di Jalan Adi Soemarmo, Jalan Slamet Riyadi dan Jalan DR. Radjiman). Publikasi Ilmiah. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Ayuningtyas, Maharani., Harianto dan Arief Safari. 2019. Pengembangan Strategi pada Aktivitas Rantai Nilai Panas Bumi (Studi pada PT Geo Dipa Energi (Persero)). Jurnal Bisnis Strategi Vol. 28 No. 01 hal (56-78)
- De Visscher, A. 2014. *Air Dispersion Modeling Foundations and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ertika, Rizka Fiqih., Evi Naria dan Taufik Ashar. 2014. Analisis Kadar Gas Sulfur Dioksida (SO₂) di Udara Ambien pada Industri Makanan Ringan yang Menggunakan Briket Batubara dan Keluhan Saluran Pernafasan pada Masyarakat di Desa Bakar Batu Kecamatan Batang Kuis Kabupaten Deli Serdang Tahun 2013. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Erwin.,Bintoro, Afif dan Rusita. 2017. Keragaman Vegetasi di Blok Pemanfaatan Hutan Pendidikan Konservasi Terpadu (HPKT) Tahura Wan Abdul Rachman, Provinsi Lampung. Jurnal Sylva Lestari Vol.5 No.3 (1-11)
- Aviantara, Dwindrata dan Fuzi Suciati. 2021. Penggunaan Model Matematik Gaussian Dispersion untuk Pendugaan Perubahan Kualitas Udara dalam Analisis Dampak Lingkungan. Jurnal Rekayasa Lingkungan Vol. 14 No.1 (14-27)
- Handriyono, Rachmanu E dan Syafei, A.D. 2015. Pemodelan Dispersi NO₂ dari Sumber Garis Menggunakan Aplikasi Open Source R Berdasarkan Model Gauss. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIII Program Studi MMT-ITS. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ishlah, Teuku. 2007. Pengawasan Eksplorasi Panas Bumi dalam Rangka Penyiapan 9.500 MW Energi Listrik pada Tahun 2025. Makalah Ilmiah. Buletin Sumber Daya Geologi Volume 2 Nomor 3

- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.50 Tahun 1996 Tentang Baku Mutu Kebauan Kholil. 2017. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam Aplikasi Ppelaporan dan Pelacakan Kejahatan Berbasis Android. Jurnal Tteknologi Informasi Komunikasi Vol.6 No.1 (51-58)
- Kinga, Wanjohi Francis and Kwashira, Josphat. 2016. Analysis of the Environmental Impacts of Geothermal Drilling on Livehoods of Adjacent Communities in Menengai Geothermal Power Project. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicologu and Food Technology (IOSR-FESTFT) Vol. 10, Issue 4 Ver.4 (71-76)
- Mackenzie, K.M., Ussher, G.N.H, Libbey, R.B., Quinlivan, P.F., Dacanay, J.U., Bogie, I., & Jacobs. (2017). Use Of Deep Slimhole Drilling For Geothermal Exploration. Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE), 2017. Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017. (1-16)
- Mary, R.T., Armawi, A., Hadna, A.H., & Pitoyo, A.J. (2017). Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi. Jurnal Ketahanan Nasional. 23(2), 217-237
- Maryanto, Dicky., Surahma Asti dan Dyah Suryani. 2009. Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) dengan Penambahan Arang Aktif pada Kendaraan Bermotor di Yogyakarta. Jurnal Kesehatan Masyarakat Vol. 3 Nno.3 (162-232)
- Mei, Wahyu dan Sulistyono. 2019. Sumber Limbah dan Potensi Pencemaran Penggunaan Sumberdaya Panas Bumi (Geothermal) pada Industri Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Pusat Pengembangan SDM Minyak dan Gas Bumi. Majalah Ilmiah Swara Patra Vol. 9 No. 2
- Mukono. 2002. Epidemiologi Lingkungan. Surabaya : Airlangga University Press
- Pahrul, Dedi., Irfannudin dan Swanny. 2017. Paparan Gas Amonia Karet Terhadap Perubahan Kadar Serum MDA (*Malondialdehyde*). Jurnal Biomedik Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya Vol.3 No.3
- Peter D. Blair *et al.* Geothermal Energy: Investment Decision and Commercial Development. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Putra, Muhammad Radifan dan Arie Dipareza Syafei. 2012. Analisis Dispersi Emisi Hidrokarbon pada *Onshore Receiving Facilities* Menggunakan ALOHA 5.4.5. Jurnal Teknik ITS Vol.5 No.2
- Rahmawati, Laily Agustina dan Eko Haryono. 2012. Studi Optimalisasi Sequestrasi Karbon Dioksida (CO₂) Berbasis Rumah Tangga. Majalah Geografi Indonesia Vol. 26 No.1 (59-79)
- Razali, Ahmad., Hasan Maksum dan Dasmarwan. 2014. Perbandingan Gas Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) yang Menggunakan *Catalyst* Kuningan

- dengan *Catalyst* Tembaga pada Motor Empat Langkah. Padang: Universitas Negeri Padang
- Riviwanto, Muchsin dan Fajar Mavira Sani. 2017. Analisis Risiko Kesehatan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Petugas Parkir di *Basement Plaza* Andalas. *Jurnal Kesehatan* Vol. 08 No.03 (441-448)
- Rofienda. 2004. Dampak Negatif Pencemaran Nitrogen Dioksida, Usaha Pencegahan dan Penanggulangannya. *Buletin Penelitian* Vo.26 No.1
- Rukajat, Ajat. 2018. Pendekatan Penelitian Kuantitatif: *Quantitative Research Approach*. Yogyakarta: Penerbit Deepublish
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change: Second Edition*. Canada: Interscience Publication
- Simanjuntak, Agus Gindo. 2007. Pencemaran Udara. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif. *Buletin Limbah* Vol.11 No.1
- Sirait, M. 2010. Hubungan Karakteristik Karyawan dengan Faal Paru di Kilang Padi Kecamatan Porsea. Skripsi. Medan: Universitas Sumatra Utara
- Siswati dan Khuliyah Candraning Dinayah. 2017. Analisis Resiko Paparan Debu (Total Suspended Particulate) di Unit Packer PT.X *Jurnal Kesehatan Lingkungan* Vol.9 No.01 (100-110).
- Slamet, J.S. 2009. Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Soedomo, Mustikahadi. 2001. Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara. Bandung: ITB
- Suma'mur, P.K. 2009. Hygiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja. Jakarta: Gunung Agung.
- Undang-Undang Panas Bumi, UU No. 27 Tahun 2003
- UPT Tahura R. Soerjo. 2014. Profil Kawasan Pelestarian Alam Taman Hutan Raya R. Soerjo: Pelestarian Plasma Nutfah, Penelitian, Wisata Alam, Pendidikan, Religi, dan Penyedia Air Bersih. Malang: Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Timur
- Wark, W. E. dan C. F. Warner. 1981. Air Pollution its Origin and Control. New York: Harper and Row
- Wisnu, Wardhana. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta: Andi offset
- Yuwono dan Arief Sabdo. 2012. Rancang Bangun dan Uji Kinerja High Volume Sampler untuk Mengukur Total Suspended Particulate. *Jurnal Purifikasi* Vol.13 No.1

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran Kualitas Udara Ambien

Date : July 16, 2021		 Issuing Office: Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635 Email: labsurabaya@sucofindo.co.id							
CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS									
CLIENT	:	Dr. Ir. ALEXANDER TUNGGUL SULTAN HAJI, MT (Universitas Brawijaya) Jl. Veteran Ketawanggede Kota Malang, Jawa Timur							
JOB REQUESTED	:	The Sampling and Analysis of Ambient Air Quality							
TEST REQUIRED	:	Sulfur Dioxide, Nitrogen Oxide, Total Particulate, Carbon Dioxide, Hydrogen Sulfida, Hydrocarbon, Temperature, Humidity, Pressure, Wind Direction and Wind Speed							
REFERENCE & METHOD OF SAMPLING	:	Government Regulation, The Republic of Indonesia (PPRI) No.22, 2021 (Appendix VII)							
DATE OF RECEIVED	:	June 29, 2021							
SAMPLING LOCATION	:	Kota Batu, Jawa Timur							
DATE OF SAMPLING	:	June 30 to July 2, 2021							
DATE OF ANALYSIS	:	July 5 to 16, 2021							
SAMPLING POINT	:								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sampling Point</th> <th>Description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Point I (Halaman Depan Aula Agro Techno Park Universitas Brawijaya)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Point II (Area Owa Buper Claket – Pacet)</td> </tr> </tbody> </table>		Sampling Point	Description	1	Point I (Halaman Depan Aula Agro Techno Park Universitas Brawijaya)	2	Point II (Area Owa Buper Claket – Pacet)
Sampling Point	Description								
1	Point I (Halaman Depan Aula Agro Techno Park Universitas Brawijaya)								
2	Point II (Area Owa Buper Claket – Pacet)								
TEST RESULTS	:	See attachments							
The attachment available is an integral part of this certificate									
<i>The test results relate to the submitted sample (s) only and the report/certificate can not be reproduced in anyway, except in full context and with prior approval in writing from Sucofindo Laboratory</i>									
This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id									
Dept. of Commercial 3 – Testing & Eco-Framework									
LSB/7103/10-102-04/000064/06/2021 Aas/SN - 2335 71030621002134.1-2		Sri Nugroho							
SBY201100006721									

Date : July 16, 2021



Issuing Office:
Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia
Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635
Email: labsurabaya@sucofindo.co.id

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

SAMPLING LOCATION : Kota Batu, Jawa Timur

SAMPLING POINT : Point I (Halaman Depan Aula Agro Techno Park Universitas Brawijaya)

COORDINATE : Latitude : S : 07° 44'24.3"
Longitude : E : 112° 32'07.2"

DATE : June 30 to July 1, 2021

TIME : 09.30 – 09.30 WIB

TEST REQUIRED : Government Regulation, The Republic of Indonesia (PPRI) No.22, 2021
(Appendix VII)

Test Result :

Parameter	Unit	Result	Limit	Method
Sulfur Dioxide (SO ₂)	µg/Nm ³	< 16.7	75	SNI 7119.7-2017
Nitrogen Oxide (NO _x)	µg/Nm ³	< 7.9	65	SNI 7119.2-2017
Total Particulate (TSP)	µg/Nm ³	11.2	230	SNI 7119.3-2017
Carbon Dioxide (CO ₂)	ppm	540.0	-	PO/ENV-ABN/09
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	µg/Nm ³	< 4.60	42	PO/ENV-ABN/10
Hydrocarbon (HC)	µg/Nm ³	< 13.6	160	SNI 19-7119.13-2009

Weather Condition :

Parameter	Unit	Result
Temperature	°C	24.0
Humidity	%	85.4
Pressure	mmHg	760.6
Wind Direction	-	SE - NW
Wind Speed	m/s	0.68 – 1.69

SBY201100006721

Date : July 16, 2021



Issuing Office:
Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia
Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635
Email: labsurabaya@sucofindo.co.id

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

SAMPLING LOCATION : Kab. Mojokerto, Jawa Timur

SAMPLING POINT : Point II (Area Owa Buper Claket – Pacet)

COORDINATE : Latitude : S : 07° 41'18.0"
Longitude : E : 112° 33'34.1"

DATE : July 1 to 2, 2021

TIME : 13.00 – 13.00 WIB

TEST REQUIRED : Government Regulation, The Republic of Indonesia (PPRI) No.22, 2021
(Appendix VII)

Test Result :

Parameter	Unit	Result	Limit	Method
Sulfur Dioxide (SO ₂)	µg/Nm ³	< 16.7	75	SNI 7119.7-2017
Nitrogen Oxide (NO _x)	µg/Nm ³	< 7.9	65	SNI 7119.2-2017
Total Particulate (TSP)	µg/Nm ³	24.0	230	SNI 7119.3-2017
Carbon Dioxide (CO ₂)	ppm	467.0	-	PO/ENV-ABN/09
Hydrogen Sulfida (H ₂ S)	µg/Nm ³	< 4.60	42	PO/ENV-ABN/10
Hydrocarbon (HC)	µg/Nm ³	< 13.6	160	SNI 19-7119.13-2009

Weather Condition :

Parameter	Unit	Result
Temperature	°C	24.9
Humidity	%	77.7
Pressure	mmHg	759.4
Wind Direction	-	NE - SW
Wind Speed	m/s	1.13 – 2.06

SBY201100006721

Lampiran 2 Perhitungan Emisi Karbon

a. Mencari nilai tapak karbon / emisi CO₂

i. Kebutuhan Bulldozer

= 4 unit / wellpad

Konsumsi energi Bulldozer

= $52925 L \times 36 \times 10^{-6} (TJ/L)$

= $1,9053 \frac{TJ}{tahun} \times 12$

= 22,8636 TJ/tahun

Emisi CO₂

= $22,8636 TJ/tahun \times 74.100 kgCO_2/TJ$

= **1694,19276 ton/tahun**

ii. Kebutuhan Motor Grader

= 3 unit / wellpad

Konsumsi energi Motor Grader

= $15695 L \times 36 \times 10^{-6} (TJ/L)$

= $0,56502 \frac{TJ}{tahun} \times 9$

= 5,08518 TJ/tahun

Emisi CO₂

= $5,08518 TJ/tahun \times 74.100 kgCO_2/TJ$

= **376,811838 ton/tahun**

iii. Kebutuhan Dump Truck

= 8 unit / wellpad

Konsumsi energi Dump Truck

= $29200 L \times 36 \times 10^{-6} (TJ/L)$

= $1,0512 \frac{TJ}{tahun} \times 24$

= 25,2288 TJ/tahun

Emisi CO₂

= $25,2288 TJ/tahun \times 74.100 kgCO_2/TJ$

= **1869,45408 ton/tahun**

iv. Kebutuhan Compactor

= 2 unit / wellpad

Konsumsi energi Compactor

= $55845 L \times 36 \times 10^{-6} (TJ/L)$

= $2,01042 \frac{TJ}{tahun} \times 6$

= 12,06252 TJ/tahun

Emisi CO₂

= $12,06252 TJ/tahun \times 74.100 kgCO_2/TJ$

= **893,832732 ton/tahun**

v. Kebutuhan Tandem Roller

= 5 unit / wellpad

Konsumsi energi Tandem Roller

= $55845 L \times 36 \times 10^{-6} (TJ/L)$

= $2,01042 \frac{TJ}{tahun} \times 15$

= 30,1563 TJ/tahun

Emisi CO₂

= $30,1563 \times 74.100 kgCO_2/TJ$

= **2234,58183 ton/tahun**

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ total} &= 1694,19276 + 376,811838 + 1869,45408 + \\ &893,832732 + 2234,58183 \\ &= \mathbf{7068,87324 \text{ ton/tahun}} \end{aligned}$$

- b. Konversi jenis kendaraan ke satuan mobil penumpang

(Direktorat Jendral Bina Marga, 1997)

$$\text{SMP Alat Berat} = 1,2 \times \text{jumlah kendaraan}$$

$$= 1,2 \times 66$$

$$= \mathbf{79,2 \text{ SMP}}$$

- c. Menghitung faktor emisi spesifik

$$\begin{aligned} \text{FES} &= \frac{\text{Emisi CO}_2 \text{ total}}{\text{SMP}} \\ &= \mathbf{89,25 \text{ ton CO}_2/\text{SMP/tahun}} \end{aligned}$$

- d. Menghitung Beban Emisi tiap wellpad

$$\begin{aligned} E &= \text{FES} \times \text{Total SMP} \\ &= 89,25 \frac{\text{ton CO}_2/\text{SMP}}{\text{tahun}} \times 22 \\ &= \mathbf{1963,5759 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}} \end{aligned}$$

Lampiran 3 Data Atmosfer Kawasan Studi Periode Maret 2020 – Maret 2021

Bulan	Kecepatan Angin Maksimum (m/s)	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)	Intensitas Cahaya (jam)	Arah Angin
Maret 2020	6	4	5.41	Utara – Timur
April 2020	6	5	6.3	Utara – Timur
Mei 2020	6	5	6.2	Timur – Selatan
Juni 2020	6	5	7.56	Selatan
Juli 2020	7	5	7.68	Selatan
Agustus 2020	7	5	7.95	Selatan
September 2020	8	5	8.24	Selatan
Oktober 2020	7	6	6.7	Timur - Selatan
November 2020	10	6	6.09	Timur - Selatan

Bulan	Kecepatan Angin Maksimum (m/s)	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)	Intensitas Cahaya (jam)	Arah Angin
Desember 2020	8	4	2.88	Barat - Utara
Januari 2021	9	5	2.41	Barat - Selatan
Februari 2021	8	5	3.63	Barat
Maret 2021	9	6	4.43	Barat - Selatan

Sumber : NOAA NDCD, BMKG Online (telah diolah kembali)

Lampiran 4 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 1

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
0	0	0	0	673381	9145850	673381	9145850
25	0	364.5728	0.637862	673385.9	9145825	673397.7	9145831
50	0	118.4654	0.207269	673390.9	9145801	673414.3	9145813
75	0	61.40083	0.107428	673395.8	9145776	673431	9145794
100	0	38.52284	0.0674	673400.8	9145752	673447.7	9145775
250	0	8.731211	0.015276	673430.4	9145605	673547.7	9145664
500	0	2.841499	0.004972	673479.9	9145360	673714.5	9145477
750	0	1.473647	0.001618	673529.3	9145115	674047.9	9145105
1000	0	2.946577	0.001935	673578.8	9144870	674714.8	9144360
1500	0	1.660912	0.001091	673677.7	9144380	675381.7	9143615
2000	0	1.10606	0.000727	673776.6	9143890	676048.7	9142869
25	25	364.4948	0.637726	673410.5	9145830	673416.3	9145848
50	25	118.458	0.207256	673415.4	9145806	673433	9145829
75	25	61.39899	0.107425	673420.3	9145781	673449.6	9145811
100	25	38.52215	0.067399	673425.3	9145757	673466.3	9145792
250	25	8.731181	0.015276	673455	9145610	673566.4	9145680
500	25	2.841496	0.004972	673504.4	9145365	673733.1	9145494
750	25	1.473646	0.001618	673553.8	9145120	674066.5	9145122
1000	25	2.946576	0.001935	673603.3	9144875	674733.5	9144376
1500	25	1.660912	0.001091	673702.2	9144385	675400.4	9143631
2000	25	1.10606	0.000727	673801.1	9143894	676067.3	9142886
25	50	364.2609	0.637316	673435	9145835	673434.9	9145865
50	50	118.436	0.207217	673439.9	9145811	673451.6	9145846
75	50	61.39346	0.107415	673444.8	9145786	673468.3	9145827
100	50	38.52008	0.067395	673449.8	9145762	673484.9	9145809
250	50	8.731089	0.015276	673479.5	9145615	673585	9145697
500	50	2.841487	0.004972	673528.9	9145370	673751.7	9145511
750	50	1.473644	0.001618	673578.4	9145125	674085.2	9145138

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
1000	50	2.946574	0.001935	673627.8	9144880	674752.1	9144393
1500	50	1.660911	0.001091	673726.7	9144390	675419	9143648
2000	50	1.10606	0.000727	673825.6	9143899	676085.9	9142903
25	100	363.3269	0.635682	673484	9145845	673472.2	9145898
50	100	118.348	0.207063	673488.9	9145821	673488.9	9145879
75	100	61.37136	0.107376	673493.9	9145796	673505.5	9145861
100	100	38.51178	0.067381	673498.8	9145772	673522.2	9145842
250	100	8.730724	0.015275	673528.5	9145625	673622.2	9145730
500	100	2.841453	0.004971	673577.9	9145380	673789	9145544
750	100	1.473635	0.001618	673627.4	9145135	674122.4	9145172
1000	100	2.946563	0.001935	673676.8	9144890	674789.3	9144426
1500	100	1.660908	0.001091	673775.7	9144399	675456.3	9143681
2000	100	1.106059	0.000727	673874.6	9143909	676123.2	9142936
25	150	361.7755	0.632968	673533	9145855	673509.4	9145931
50	150	118.2015	0.206807	673537.9	9145831	673526.1	9145913
75	150	61.33454	0.107312	673542.9	9145806	673542.8	9145894
100	150	38.49797	0.067357	673547.8	9145782	673559.5	9145876
250	150	8.730116	0.015274	673577.5	9145635	673659.5	9145764
500	150	2.841395	0.004971	673626.9	9145390	673826.2	9145577
750	150	1.473621	0.001618	673676.4	9145144	674159.7	9145205
1000	150	2.946546	0.001935	673725.8	9144899	674826.6	9144460
1500	150	1.660904	0.001091	673824.7	9144409	675493.5	9143715
2000	150	1.106057	0.000727	673923.6	9143919	676160.4	9142970
25	200	359.6147	0.629187	673582	9145865	673546.7	9145965
50	200	117.9966	0.206449	673586.9	9145841	673563.4	9145946
75	200	61.28303	0.107222	673591.9	9145816	673580	9145927
100	200	38.47863	0.067323	673596.8	9145792	673596.7	9145909
250	200	8.729264	0.015273	673626.5	9145644	673696.8	9145797
500	200	2.841315	0.004971	673675.9	9145399	673863.5	9145611
750	200	1.473601	0.001618	673725.4	9145154	674196.9	9145238
1000	200	2.946522	0.001935	673774.8	9144909	674863.9	9144493
1500	200	1.660897	0.001091	673873.7	9144419	675530.8	9143748
2000	200	1.106054	0.000727	673972.6	9143929	676197.7	9143003
25	250	356.8555	0.62436	673631	9145875	673584	9145998
50	250	117.7337	0.205989	673636	9145850	673600.6	9145979
75	250	61.21686	0.107106	673640.9	9145826	673617.3	9145961
100	250	38.45379	0.067279	673645.8	9145801	673634	9145942
250	250	8.728168	0.015271	673675.5	9145654	673734	9145830
500	250	2.841212	0.004971	673725	9145409	673900.7	9145644
750	250	1.473575	0.001618	673774.4	9145164	674234.2	9145272
1000	250	2.946491	0.001935	673823.8	9144919	674901.1	9144526
1500	250	1.660888	0.001091	673922.7	9144429	675568	9143781

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
2000	250	1.106051	0.000727	674021.6	9143939	676234.9	9143036
25	300	353.5119	0.61851	673680	9145885	673621.2	9146031
50	300	117.4132	0.205428	673685	9145860	673637.9	9146013
75	300	61.13609	0.106965	673689.9	9145836	673654.6	9145994
100	300	38.42345	0.067226	673694.9	9145811	673671.2	9145976
250	300	8.726829	0.015269	673724.5	9145664	673771.3	9145864
500	300	2.841086	0.004971	673774	9145419	673938	9145678
750	300	1.473543	0.001618	673823.4	9145174	674271.5	9145305
1000	300	2.946453	0.001935	673872.9	9144929	674938.4	9144560
1500	300	1.660878	0.001091	673971.7	9144439	675605.3	9143815
2000	300	1.106047	0.000727	674070.6	9143949	676272.2	9143070

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021

Lampiran 5 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 3

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
0	0	0	0	671102	9145349	671102	9145349
25	0	364.5728	0.637862	671106.9	9145324	671118.7	9145330
50	0	118.4654	0.207269	671111.9	9145300	671135.3	9145312
75	0	61.40083	0.107428	671116.8	9145275	671152	9145293
100	0	38.52284	0.0674	671121.8	9145251	671168.7	9145274
250	0	8.731211	0.015276	671151.4	9145104	671268.7	9145163
500	0	2.841499	0.004972	671200.9	9144859	671435.5	9144976
750	0	1.473647	0.001618	671299.8	9144369	671768.9	9144604
1000	0	2.946577	0.001935	671497.6	9143389	672435.8	9143859
1500	0	1.660912	0.001091	671695.4	9142408	673102.7	9143114
2000	0	1.10606	0.000727	671893.1	9141428	673769.7	9142368
25	25	364.4948	0.637726	671131.5	9145329	671137.3	9145347
50	25	118.458	0.207256	671136.4	9145305	671154	9145328
75	25	61.39899	0.107425	671141.3	9145280	671170.6	9145310
100	25	38.52215	0.067399	671146.3	9145256	671187.3	9145291
250	25	8.731181	0.015276	671176	9145109	671287.4	9145179
500	25	2.841496	0.004972	671225.4	9144864	671454.1	9144993
750	25	1.473646	0.001618	671324.3	9144374	671787.5	9144621
1000	25	2.946576	0.001935	671522.1	9143393	672454.5	9143875
1500	25	1.660912	0.001091	671719.9	9142413	673121.4	9143130
2000	25	1.10606	0.000727	671917.6	9141433	673788.3	9142385
25	50	364.2609	0.637316	671156	9145334	671155.9	9145364
50	50	118.436	0.207217	671160.9	9145310	671172.6	9145345
75	50	61.39346	0.107415	671165.8	9145285	671189.3	9145326
100	50	38.52008	0.067395	671170.8	9145261	671205.9	9145308
250	50	8.731089	0.015276	671200.5	9145114	671306	9145196

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
500	50	2.841487	0.004972	671249.9	9144869	671472.7	9145010
750	50	1.473644	0.001618	671348.8	9144379	671806.2	9144637
1000	50	2.946574	0.001935	671546.6	9143398	672473.1	9143892
1500	50	1.660911	0.001091	671744.4	9142418	673140	9143147
2000	50	1.10606	0.000727	671942.1	9141438	673806.9	9142402
25	100	363.3269	0.635682	671205	9145344	671193.2	9145397
50	100	118.348	0.207063	671209.9	9145320	671209.9	9145378
75	100	61.37136	0.107376	671214.9	9145295	671226.5	9145360
100	100	38.51178	0.067381	671219.8	9145271	671243.2	9145341
250	100	8.730724	0.015275	671249.5	9145124	671343.2	9145229
500	100	2.841453	0.004971	671298.9	9144879	671510	9145043
750	100	1.473635	0.001618	671397.8	9144389	671843.4	9144671
1000	100	2.946563	0.001935	671595.6	9143408	672510.3	9143925
1500	100	1.660908	0.001091	671793.4	9142428	673177.3	9143180
2000	100	1.106059	0.000727	671991.2	9141448	673844.2	9142435
25	150	361.7755	0.632968	671254	9145354	671230.4	9145430
50	150	118.2015	0.206807	671258.9	9145330	671247.1	9145412
75	150	61.33454	0.107312	671263.9	9145305	671263.8	9145393
100	150	38.49797	0.067357	671268.8	9145281	671280.5	9145375
250	150	8.730116	0.015274	671298.5	9145134	671380.5	9145263
500	150	2.841395	0.004971	671347.9	9144889	671547.2	9145076
750	150	1.473621	0.001618	671446.8	9144398	671880.7	9144704
1000	150	2.946546	0.001935	671644.6	9143418	672547.6	9143959
1500	150	1.660904	0.001091	671842.4	9142438	673214.5	9143214
2000	150	1.106057	0.000727	672040.2	9141458	673881.4	9142469
25	200	359.6147	0.629187	671303	9145364	671267.7	9145464
50	200	117.9966	0.206449	671307.9	9145340	671284.4	9145445
75	200	61.28303	0.107222	671312.9	9145315	671301	9145426
100	200	38.47863	0.067323	671317.8	9145291	671317.7	9145408
250	200	8.729264	0.015273	671347.5	9145143	671417.8	9145296
500	200	2.841315	0.004971	671396.9	9144898	671584.5	9145110
750	200	1.473601	0.001618	671495.8	9144408	671917.9	9144737
1000	200	2.946522	0.001935	671693.6	9143428	672584.9	9143992
1500	200	1.660897	0.001091	671891.4	9142448	673251.8	9143247
2000	200	1.106054	0.000727	672089.2	9141468	673918.7	9142502
25	250	356.8555	0.62436	671352	9145374	671305	9145497
50	250	117.7337	0.205989	671357	9145349	671321.6	9145478
75	250	61.21686	0.107106	671361.9	9145325	671338.3	9145460
100	250	38.45379	0.067279	671366.8	9145300	671355	9145441
250	250	8.728168	0.015271	671396.5	9145153	671455	9145329
500	250	2.841212	0.004971	671446	9144908	671621.7	9145143
750	250	1.473575	0.001618	671544.8	9144418	671955.2	9144771

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
1000	250	2.946491	0.001935	671742.6	9143438	672622.1	9144025
1500	250	1.660888	0.001091	671940.4	9142458	673289	9143280
2000	250	1.106051	0.000727	672138.2	9141477	673955.9	9142535
25	300	353.5119	0.61851	671401	9145384	671342.2	9145530
50	300	117.4132	0.205428	671406	9145359	671358.9	9145512
75	300	61.13609	0.106965	671410.9	9145335	671375.6	9145493
100	300	38.42345	0.067226	671415.9	9145310	671392.2	9145475
250	300	8.726829	0.015269	671445.5	9145163	671492.3	9145363
500	300	2.841086	0.004971	671495	9144918	671659	9145177
750	300	1.473543	0.001618	671593.9	9144428	671992.5	9144804
1000	300	2.946453	0.001935	671791.6	9143448	672659.4	9144059
1500	300	1.660878	0.001091	671989.4	9142468	673326.3	9143314
2000	300	1.106047	0.000727	672187.2	9141487	673993.2	9142569

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021

Lampiran 6 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Wellpad 4

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
0	0	0	0	672446	9146937	672446	9146937
25	0	364.5728	0.637862	672450.9	9146912	672462.7	9146918
50	0	118.4654	0.207269	672455.9	9146888	672479.3	9146900
75	0	61.40083	0.107428	672460.8	9146863	672496	9146881
100	0	38.52284	0.0674	672465.8	9146839	672512.7	9146862
250	0	8.731211	0.015276	672495.4	9146692	672612.7	9146751
500	0	2.841499	0.004972	672544.9	9146447	672779.5	9146564
750	0	1.473647	0.001618	672643.8	9145957	673112.9	9146192
1000	0	2.946577	0.001935	672841.6	9144977	673779.8	9145447
1500	0	1.660912	0.001091	673039.4	9143996	674446.7	9144702
2000	0	1.10606	0.000727	673237.1	9143016	675113.7	9143956
25	25	364.4948	0.637726	672475.5	9146917	672481.3	9146935
50	25	118.458	0.207256	672480.4	9146893	672498	9146916
75	25	61.39899	0.107425	672485.3	9146868	672514.6	9146898
100	25	38.52215	0.067399	672490.3	9146844	672531.3	9146879
250	25	8.731181	0.015276	672520	9146697	672631.4	9146767
500	25	2.841496	0.004972	672569.4	9146452	672798.1	9146581
750	25	1.473646	0.001618	672668.3	9145962	673131.5	9146209
1000	25	2.946576	0.001935	672866.1	9144981	673798.5	9145463
1500	25	1.660912	0.001091	673063.9	9144001	674465.4	9144718
2000	25	1.10606	0.000727	673261.6	9143021	675132.3	9143973
25	50	364.2609	0.637316	672500	9146922	672499.9	9146952
50	50	118.436	0.207217	672504.9	9146898	672516.6	9146933
75	50	61.39346	0.107415	672509.8	9146873	672533.3	9146914

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
100	50	38.52008	0.067395	672514.8	9146849	672549.9	9146896
250	50	8.731089	0.015276	672544.5	9146702	672650	9146784
500	50	2.841487	0.004972	672593.9	9146457	672816.7	9146598
750	50	1.473644	0.001618	672692.8	9145967	673150.2	9146225
1000	50	2.946574	0.001935	672890.6	9144986	673817.1	9145480
1500	50	1.660911	0.001091	673088.4	9144006	674484	9144735
2000	50	1.10606	0.000727	673286.1	9143026	675150.9	9143990
25	100	363.3269	0.635682	672549	9146932	672537.2	9146985
50	100	118.348	0.207063	672553.9	9146908	672553.9	9146966
75	100	61.37136	0.107376	672558.9	9146883	672570.5	9146948
100	100	38.51178	0.067381	672563.8	9146859	672587.2	9146929
250	100	8.730724	0.015275	672593.5	9146712	672687.2	9146817
500	100	2.841453	0.004971	672642.9	9146467	672854	9146631
750	100	1.473635	0.001618	672741.8	9145977	673187.4	9146259
1000	100	2.946563	0.001935	672939.6	9144996	673854.3	9145513
1500	100	1.660908	0.001091	673137.4	9144016	674521.3	9144768
2000	100	1.106059	0.000727	673335.2	9143036	675188.2	9144023
25	150	361.7755	0.632968	672598	9146942	672574.4	9147018
50	150	118.2015	0.206807	672602.9	9146918	672591.1	9147000
75	150	61.33454	0.107312	672607.9	9146893	672607.8	9146981
100	150	38.49797	0.067357	672612.8	9146869	672624.5	9146963
250	150	8.730116	0.015274	672642.5	9146722	672724.5	9146851
500	150	2.841395	0.004971	672691.9	9146477	672891.2	9146664
750	150	1.473621	0.001618	672790.8	9145986	673224.7	9146292
1000	150	2.946546	0.001935	672988.6	9145006	673891.6	9145547
1500	150	1.660904	0.001091	673186.4	9144026	674558.5	9144802
2000	150	1.106057	0.000727	673384.2	9143046	675225.4	9144057
25	200	359.6147	0.629187	672647	9146952	672611.7	9147052
50	200	117.9966	0.206449	672651.9	9146928	672628.4	9147033
75	200	61.28303	0.107222	672656.9	9146903	672645	9147014
100	200	38.47863	0.067323	672661.8	9146879	672661.7	9146996
250	200	8.729264	0.015273	672691.5	9146731	672761.8	9146884
500	200	2.841315	0.004971	672740.9	9146486	672928.5	9146698
750	200	1.473601	0.001618	672839.8	9145996	673261.9	9146325
1000	200	2.946522	0.001935	673037.6	9145016	673928.9	9145580
1500	200	1.660897	0.001091	673235.4	9144036	674595.8	9144835
2000	200	1.106054	0.000727	673433.2	9143056	675262.7	9144090
25	250	356.8555	0.62436	672696	9146962	672649	9147085
50	250	117.7337	0.205989	672701	9146937	672665.6	9147066
75	250	61.21686	0.107106	672705.9	9146913	672682.3	9147048
100	250	38.45379	0.067279	672710.8	9146888	672699	9147029
250	250	8.728168	0.015271	672740.5	9146741	672799	9146917

x	y	CO ₂	H ₂ S	Siang		Malam	
				x-peta	y-peta	x-peta	y-peta
500	250	2.841212	0.004971	672790	9146496	672965.7	9146731
750	250	1.473575	0.001618	672888.8	9146006	673299.2	9146359
1000	250	2.946491	0.001935	673086.6	9145026	673966.1	9145613
1500	250	1.660888	0.001091	673284.4	9144046	674633	9144868
2000	250	1.106051	0.000727	673482.2	9143065	675299.9	9144123
25	300	353.5119	0.61851	672745	9146972	672686.2	9147118
50	300	117.4132	0.205428	672750	9146947	672702.9	9147100
75	300	61.13609	0.106965	672754.9	9146923	672719.6	9147081
100	300	38.42345	0.067226	672759.9	9146898	672736.2	9147063
250	300	8.726829	0.015269	672789.5	9146751	672836.3	9146951
500	300	2.841086	0.004971	672839	9146506	673003	9146765
750	300	1.473543	0.001618	672937.9	9146016	673336.5	9146392
1000	300	2.946453	0.001935	673135.6	9145036	674003.4	9145647
1500	300	1.660878	0.001091	673333.4	9144056	674670.3	9144902
2000	300	1.106047	0.000727	673531.2	9143075	675337.2	9144157

Sumber: Hasil Perhitungan, 2021

Lampiran 7 Hasil Perhitungan Konsentrasi Polutan Skenario Perubahan Arah Angin Menuju
Pemukiman Terdekat (Agrotechnopark Brawijaya)

x	y	CO ₂	H ₂ S	x-peta	y-peta
0	0	0	0	671102	9145349
25	0	364.5754317	0.637862037	671079.9031	9145337.307
50	0	118.4662452	0.207268823	671057.8061	9145325.614
75	0	61.40127941	0.107427824	671035.7092	9145313.921
100	0	38.52312191	0.067400145	671013.6123	9145302.228
250	0	8.731275196	0.01527626	670881.0306	9145232.07
500	0	2.841519511	0.004971529	670660.0613	9145115.141
1000	0	0.92488211	0.001618176	670218.1225	9144881.281
2000	0	1.10606851	0.00193518	669334.2451	9144413.563
3000	0	0.623759233	0.001091331	668450.3676	9143945.844
4000	0	0.415500159	0.00072696	667566.4901	9143478.126
25	25	364.4974386	0.63772558	671091.596	9145315.21
50	25	118.4589059	0.207255982	671069.4991	9145303.517
75	25	61.39943697	0.1074246	671047.4022	9145291.824
100	25	38.5224308	0.067398936	671025.3052	9145280.131
250	25	8.731244759	0.015276206	670892.7236	9145209.973
500	25	2.841516643	0.004971524	670671.7542	9145093.044
1000	25	0.924881839	0.001618175	670229.8155	9144859.185
2000	25	1.106068417	0.00193518	669345.938	9144391.466
3000	25	0.623759208	0.001091331	668462.0605	9143923.748
4000	25	0.415500148	0.00072696	667578.1831	9143456.029
25	50	364.2635593	0.637316384	671103.289	9145293.113

x	y	CO ₂	H ₂ S	x-peta	y-peta
50	50	118.4368907	0.207217464	671081.1921	9145281.42
75	50	61.39390998	0.10741493	671059.0951	9145269.727
100	50	38.52035753	0.067395309	671036.9982	9145258.034
250	50	8.731153451	0.015276047	670904.4166	9145187.876
500	50	2.841508038	0.004971509	670683.4472	9145070.947
1000	50	0.924881028	0.001618174	670241.5085	9144837.088
2000	50	1.106068136	0.001935179	669357.631	9144369.369
3000	50	0.623759131	0.00109133	668473.7535	9143901.651
4000	50	0.415500118	0.00072696	667589.876	9143433.932
25	100	363.3295417	0.635682225	671126.6749	9145248.919
50	100	118.3488708	0.207063464	671104.578	9145237.226
75	100	61.37180699	0.107376259	671082.481	9145225.533
100	100	38.51206557	0.067380801	671060.3841	9145213.84
250	100	8.730788227	0.015275408	670927.8025	9145143.683
500	100	2.841473619	0.004971449	670706.8331	9145026.753
1000	100	0.924877784	0.001618168	670264.8944	9144792.894
2000	100	1.106067012	0.001935177	669381.0169	9144325.175
3000	100	0.623758824	0.00109133	668497.1394	9143857.457
4000	100	0.415499996	0.00072696	667613.262	9143389.738
25	150	361.7781648	0.632967932	671150.0608	9145204.725
50	150	118.2023164	0.206807052	671127.9639	9145193.032
75	150	61.33498636	0.107311837	671105.867	9145181.339
100	150	38.49824961	0.067356628	671083.77	9145169.647
250	150	8.730179555	0.015274343	670951.1884	9145099.489
500	150	2.841416254	0.004971349	670730.219	9144982.559
1000	150	0.924872377	0.001618159	670288.2803	9144748.7
2000	150	1.10606514	0.001935174	669404.4028	9144280.981
3000	150	0.623758313	0.001091329	668520.5254	9143813.263
4000	150	0.415499792	0.000726959	667636.6479	9143345.544
25	200	359.6173595	0.629187382	671173.4468	9145160.532
50	200	117.9974451	0.206448609	671151.3498	9145148.839
75	200	61.28347458	0.107221712	671129.2529	9145137.146
100	200	38.47891559	0.067322802	671107.156	9145125.453
250	200	8.729327484	0.015272852	670974.5743	9145055.295
500	200	2.841335946	0.004971208	670753.605	9144938.365
1000	200	0.924864808	0.001618146	670311.6662	9144704.506
2000	200	1.106062519	0.00193517	669427.7888	9144236.787
3000	200	0.623757597	0.001091328	668543.9113	9143769.069
4000	200	0.415499507	0.000726959	667660.0338	9143301.35
25	250	356.8581342	0.624359835	671196.8327	9145116.338
50	250	117.7345607	0.205988666	671174.7358	9145104.645
75	250	61.21730872	0.107105948	671152.6388	9145092.952
100	250	38.45407184	0.067279335	671130.5419	9145081.259

x	y	CO ₂	H ₂ S	x-peta	y-peta
250	250	8.728232087	0.015270935	670997.9603	9145011.101
500	250	2.841232696	0.004971027	670776.9909	9144894.171
1000	250	0.924855076	0.001618129	670335.0522	9144660.312
2000	250	1.106059148	0.001935164	669451.1747	9144192.594
3000	250	0.623756676	0.001091326	668567.2972	9143724.875
4000	250	0.41549914	0.000726958	667683.4197	9143257.157
25	300	353.5144816	0.618509772	671220.2186	9145072.144
50	300	117.4140529	0.205427904	671198.1217	9145060.451
75	300	61.13653633	0.106964628	671176.0247	9145048.758
100	300	38.42372903	0.067226247	671153.9278	9145037.065
250	300	8.726893456	0.015268593	671021.3462	9144966.907
500	300	2.841106506	0.004970807	670800.3768	9144849.977
1000	300	0.924843181	0.001618108	670358.4381	9144616.118
2000	300	1.106055029	0.001935156	669474.5606	9144148.4
3000	300	0.623755551	0.001091324	668590.6831	9143680.681
4000	300	0.415498692	0.000726957	667706.8057	9143212.963

Lampiran 8 Hasil Perhitungan Sebaran Konsentrasi Emisi Buang H₂S Melampaui Nilai Ambang Batas dari Sumber Pencemar

x	y	C(x,y,0)	x-peta	y-peta
0	0	0	673381	9145850
25	0	358.6096246	673397.6729	9145831.372
50	0	116.5276977	673414.3458	9145812.743
75	0	60.3965266	673431.0187	9145794.115
100	0	37.89274067	673447.6916	9145775.487
250	0	8.588399129	673547.7289	9145663.717
500	0	2.795021706	673714.4578	9145477.433
1000	0	0.909747606	674047.9156	9145104.867
2000	0	1.087969125	674714.8312	9144359.733
3000	0	0.613552217	675381.7468	9143614.6
4000	0	0.408701034	676048.6624	9142869.467
25	25	358.5329077	673416.3012	9145848.045
50	25	116.5204785	673432.9741	9145829.416
75	25	60.39471431	673449.647	9145810.788
100	25	37.89206086	673466.3199	9145792.16
250	25	8.588369191	673566.3572	9145680.39
500	25	2.795018885	673733.0861	9145494.106
1000	25	0.90974734	674066.5439	9145121.54
2000	25	1.087969032	674733.4595	9144376.406
3000	25	0.613552192	675400.3751	9143631.273
4000	25	0.408701024	676067.2907	9142886.14
25	50	358.3028555	673434.9296	9145864.717
50	50	116.4988236	673451.6024	9145846.089

x	y	C(x,y,0)	x-peta	y-peta
75	50	60.38927776	673468.2753	9145827.461
100	50	37.89002152	673484.9482	9145808.832
250	50	8.588279377	673584.9856	9145697.062
500	50	2.795010421	673751.7145	9145510.779
1000	50	0.909746542	674085.1723	9145138.213
2000	50	1.087968756	674752.0879	9144393.079
3000	50	0.613552117	675419.0035	9143647.946
4000	50	0.408700994	676085.9191	9142902.813
25	100	357.384122	673472.1862	9145898.063
50	100	116.4122441	673488.8591	9145879.435
75	100	60.36753646	673505.532	9145860.807
100	100	37.88186525	673522.2049	9145842.178
250	100	8.587920129	673622.2422	9145730.408
500	100	2.794976565	673788.9711	9145544.125
1000	100	0.909743351	674122.4289	9145171.558
2000	100	1.087967651	674789.3445	9144426.425
3000	100	0.613551815	675456.2601	9143681.292
4000	100	0.408700874	676123.1757	9142936.159
25	150	355.8581314	673509.4429	9145931.409
50	150	116.2680878	673526.1158	9145912.781
75	150	60.33131835	673542.7887	9145894.152
100	150	37.86827537	673559.4615	9145875.524
250	150	8.587321417	673659.4989	9145763.754
500	150	2.794920139	673826.2278	9145577.471
1000	150	0.909738033	674159.6856	9145204.904
2000	150	1.087965809	674826.6012	9144459.771
3000	150	0.613551312	675493.5168	9143714.638
4000	150	0.408700673	676160.4324	9142969.504
25	200	353.7326848	673546.6995	9145964.755
50	200	116.0665689	673563.3724	9145946.126
75	200	60.2806495	673580.0453	9145927.498
100	200	37.84925773	673596.7182	9145908.87
250	200	8.58648329	673696.7556	9145797.1
500	200	2.794841145	673863.4845	9145610.816
1000	200	0.909730587	674196.9423	9145238.25
2000	200	1.087963231	674863.8579	9144493.117
3000	200	0.613550607	675530.7735	9143747.983
4000	200	0.408700393	676197.6891	9143002.85
25	250	351.0186107	673583.9562	9145998.101
50	250	115.8079864	673600.6291	9145979.472
75	250	60.21556635	673617.302	9145960.844
100	250	37.82482051	673633.9749	9145942.216
250	250	8.585405817	673734.0122	9145830.446

x	y	C(x,y,0)	x-peta	y-peta
500	250	2.794739584	673900.7411	9145644.162
1000	250	0.909721014	674234.1989	9145271.596
2000	250	1.087959916	674901.1145	9144526.462
3000	250	0.613549702	675568.0301	9143781.329
4000	250	0.408700032	676234.9457	9143036.196
25	300	347.7296727	673621.2129	9146031.446
50	300	115.4927232	673637.8858	9146012.818
75	300	60.1361157	673654.5586	9145994.19
100	300	37.79497422	673671.2315	9145975.561
250	300	8.584089091	673771.2689	9145863.791
500	300	2.794615459	673937.9978	9145677.508
1000	300	0.909709314	674271.4556	9145304.941
2000	300	1.087955864	674938.3712	9144559.808
3000	300	0.613548595	675605.2868	9143814.675
4000	300	0.408699591	676272.2024	9143069.542

Lampiran 9 Dokumentasi



